HYDROTIMÉTRIE.

NOUVELLE MÉTHODE

POUR DÉTERMINER

LES PROPORTIONS DES MATIÈRES MINÉRALES

EN DISSOLUTION DANS LES EAUX DE SOURCES

ET DE RIVIÈRES

PAR

MM. BOUTRON ET F. BOUDET

MEMBRES DE L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DE MÉDECINE

ET DU CONSEIL D'HYGIÈNE PUBLIQUE ET DE SALUBRITÉ DU DÉPARTEMENT DE LA SEINE

QUATRIÈME ÉDITION.

PARIS

LIBRAIRIE DE VICTOR MASSON

PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

1866

HYDROTIMÉTRIE.

NOUVELLE MÉTHODE

POUR DÉTERMINER

LES PROPORTIONS DES MATIÈRES MINÉRALES

EN DISSOLUTION DANS LES EAUX DE SOURCES

ET DE RIVIÈRES.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Cᵉ, rue Racine, 26.

HYDROTIMÉTRIE.

NOUVELLE MÉTHODE

POUR DÉTERMINER

LES PROPORTIONS DES MATIÈRES MINÉRALES

EN DISSOLUTION DANS LES EAUX DE SOURCES

ET DE RIVIÈRES

PAR

MM. BOUTRON ET F. BOUDET

MEMBRES DE L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DE MÉDECINE

ET DU CONSEIL D'HYGIÈNE PUBLIQUE ET DE SALUBRITÉ DU DÉPARTEMENT DE LA SEINE

QUATRIÈME ÉDITION.

PARIS

LIBRAIRIE DE VICTOR MASSON

PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

1866

L'Académie des sciences, dans sa séance publique du 28 janvier 1856, a décerné un prix de 2,000 fr. aux auteurs de ce Mémoire pour le procédé au moyen duquel ils déterminent d'une manière rapide la proportion des Sels de chaux et de magnésie qui se trouvent dans les eaux potables et dans celles dont l'industrie peut tirer parti.

AVANT-PROPOS.

Lorsqu'il y a dix ans nous avons publié, pour la première fois, le petit ouvrage dont nous donnons aujourd'hui la quatrième édition, nous signalions avec confiance les avantages que l'hydrotimétrie devait offrir pour la connaissance et le choix éclairé des eaux de sources et de rivières considérées au point de vue de leurs différents usages, et il était évident pour nous que la simplicité des procédés hydrotimétriques, leur rapidité, leur sensibilité extrême et leur caractère essentiellement pratique ne tarderaient pas à les vulgariser.

Le succès a dépassé nos espérances; l'hydrotimétrie a fait son chemin par elle-même, par la seule force d'expansion natuturelle d'une idée juste et utile.

Aujourd'hui l'hydrotimètre est partout, en France comme à l'étranger, entre les mains des chimistes, des ingénieurs, des industriels, des marins et de toutes les personnes intéressées à connaître et à doser les matières terreuses contenues dans les eaux de sources et de rivières et à constater la qualité de ces eaux.

Rien de plus facile à exécuter que la méthode hydrotimétrique, rien de plus sûr que ses indications et les conséquences qui peuvent en être déduites. Cependant on a fait quelques objections au sujet de l'importance que nous avons attribuée à

cette méthode pour apprécier la qualité des eaux. Notre nouvelle édition nous offrait une occasion toute naturelle d'affirmer de nouveau la véritable valeur de l'hydrotimétrie, et de rappeler, à l'appui de nos arguments, les nombreuses et utiles observations qu'elle a fournies à l'hydrologie ; nous n'avons pas dû hésiter à en profiter.

Les eaux de sources et de rivières, abstraction faite des eaux dites minérales ou médicinales, se divisent naturellement en deux groupes, les eaux potables ou alimentaires, c'est-à-dire propres à la boisson et à la préparation des aliments, et les eaux propres aux divers emplois industriels, tels que le savonnage, la teinture, les machines à vapeur, l'irrigation, etc., etc.

Les conditions que les eaux doivent remplir pour chacune de ces applications ne sont pas exactement les mêmes, mais c'est à la bonne qualité des eaux potables que se rattachent les intérêts les plus considérables, et d'ailleurs on peut dire, d'une manière générale, que les eaux potables de bonne qualité se prêtent à peu près à tous les emplois industriels, tandis que des eaux convenables pour certaines industries peuvent être impropres à l'alimentation de l'homme et des animaux.

Examinons quelles sont les conditions que doit offrir une bonne eau potable.

Voici la définition que M. Wurtz en a donnée récemment dans son *Traité de chimie médicale :* « Être fraîche, limpide,
« sans odeur, d'une saveur faible mais agréable, et qui ne soit
« ni fade, ni salée, ni douceâtre, cuire les légumes en les ramol-
« lissant, dissoudre le savon, telles sont les qualités d'une bonne
« eau potable. »

Ces conditions peuvent être reconnues par les personnes les plus étrangères à la science, et assurément toutes les eaux qui

les réalisent peuvent être considérées comme potables; mais si l'on compare ces eaux entre elles, combien ne trouve-t-on pas de degrés différents dans leur qualité!

Quelle distance entre telle eau qui cuit les légumes en les ramollissant assez pour qu'ils soient mangeables, et l'eau distillée ou l'eau de pluie, ou même certaines eaux de sources qui jouissent au plus haut point de la propriété de les ramollir ! Quelle distance et combien de degrés intermédiaires entre l'eau pure qui n'exige qu'un décigramme de savon par litre pour devenir mousseuse et blanchir le linge, et l'eau du puits de Grenelle, par exemple, ou celle de la Seine qui exigent, la première 11 décigrammes, et la seconde 18 à 20 décigrammes de savon, pour acquérir la même propriété, ou telle autre qui, bien qu'elle absorbe une proportion beaucoup plus considérable de savon, s'emploie encore, faute de mieux, pour le blanchissage! La définition que nous avons citée donne une idée générale des qualités essentielles que doivent offrir les eaux pour être bonnes à boire, mais elle ne donne aucun moyen précis de les comparer entre elles et d'estimer leur valeur réelle. Pour en faire une appréciation plus approfondie, il faut recourir à l'analyse chimique qui signale la nature et les proportions des matières diverses qui s'y trouvent en dissolution.

Or quand on examine les nombreuses analyses d'eaux de sources et de rivières que fournissent les annales de la science, on voit que parmi les substances minérales fixes contenues dans ces eaux il n'y a, sauf quelques cas extrêmement rares, que les sels de chaux et de magnésie qui puissent exercer une influence réelle sur leur qualité et qui méritent de fixer l'attention à cet égard.

La connaissance exacte de la nature et des proportions des

sels de chaux et de magnésie contenues dans les eaux que leur limpidité et leur saveur agréable peuvent faire classer *à priori* parmi les eaux potables, est donc le seul enseignement que fournisse, au point de vue de leur qualité, l'analyse chimique la plus délicate des eaux de sources et de rivières, lorsqu'on se borne à considérer les matières minérales qu'elles contiennent.

Ceci admis, il devient facile de démontrer que la méthode hydrotimétrique remplit à cet égard le même but que l'analyse chimique, avec une simplicité de moyen, une rapidité et une sûreté d'exécution qui ne laissent rien à désirer. En effet, le degré hydrotimétrique d'une eau fait connaître immédiatement : 1° son titre, c'est-à-dire son rang dans l'échelle hydrotimétrique des eaux ; 2° la proportion des matières terreuses qu'elle contient, et par conséquent sa dureté ; 3° la proportion de savon qu'elle consommera pour le savonnage ; 4° sa valeur réelle comme eau potable et propre à la cuisson des légumes et à la préparation des aliments.

Si, poussant plus loin l'application de la méthode hydrotimétrique, on a recours à l'ébullition pour précipiter et doser le carbonate de chaux ; à l'oxalate d'ammoniaque pour isoler la chaux et la magnésie et en reconnaître les proportions, il ne reste plus, pour compléter l'analyse, qu'à employer l'azotate de baryte pour juger si l'eau contient ou non du sulfate de chaux, et lorsqu'elle en contient, pour se rendre compte de sa proportion, soit immédiatement et à simple vue, par le trouble plus ou moins sensible que le réactif produit dans la liqueur, soit par une nouvelle application des procédés hydrotimétriques.

Toutefois, bien que la série de ces expériences exige peu de temps, il n'est pas toujours nécessaire de l'exécuter tout entière, et un simple titrage hydrotimétrique suffit le plus ordinairement

pour donner une idée juste de la qualité d'une eau de source ou de rivière, lorsqu'on s'est assuré par l'azotate de baryte qu'elle ne contient pas de sulfate de chaux, ou n'en contient que des traces.

Ainsi, M. l'ingénieur Belgrand, dans cette immense enquête qu'il a entreprise pour rechercher des eaux propres à l'alimentation de Paris, s'est borné en général à constater les degrés hydrotimétriques des sources et rivières qu'il a explorées, et ses observations, groupées d'après la nature des terrains d'émergence ou de parcours des eaux, ont servi non-seulement à le guider très-sûrement dans ses choix, mais encore à former cet ensemble de documents précieux que, grâce à son obligeance, nous publions aujourd'hui sur les eaux d'une contrée considérable de l'empire (1).

De son côté, M. Robinet, dans les recherches hydrotimétriques qu'il poursuit avec tant d'ardeur et de persévérance pour composer le Dictionnaire hydrographique qui doit faire connaître toutes les eaux douces de la France, se borne souvent aussi à indiquer leurs degrés hydrotimétriques, bien convaincu qu'à défaut de renseignements plus complets, ces titres ont à eux seuls une signification très-précieuse.

Quelles ressources d'ailleurs ne trouve-t-on pas dans l'hydrotimétrie pour résoudre une foule de questions générales, particulières ou incidentes !

C'est à l'aide de l'hydrotimétrie que M. Robinet a pu reconnaître les différences que présente l'eau de Seine prise en plein courant, sur la rive gauche ou sur la rive droite ; constater la lenteur avec laquelle s'opère son mélange avec les eaux de la Marne dont le titre est plus élevé, suivre ses variations jour par

---

(1) Voir page 67.

jour, établir son titre moyen pour une année entière, dans l'intérieur de Paris, et démontrer que dans certains points de la Seine on puise de l'eau de la Marne, dans d'autres de l'eau de l'Oise, même à une distance assez considérable de leur jonction avec le fleuve (1).

L'hydrotimètre a été fort utile encore à notre savant collègue pour établir ce fait remarquable, et qui doit certainement conduire à des applications intéressantes, que les sels terreux peuvent être complétement éliminés de l'eau par la congélation, et par exemple, que la glace recueillie pendant l'hiver sur le lac du bois de Boulogne, pour les glacières de la ville de Paris, donne par la fusion une eau à 0° hydrotimétrique, comme l'eau distillée la plus pure, tandis que l'eau du lac elle-même titre 30 degrés.

D'autre part, mettant à profit les facilités que donne l'hydrotimètre pour multiplier les expériences les plus délicates, M. Robinet a observé les eaux de pluie de Paris et leurs variations hydrotimétriques suivant les saisons (2), et a reconnu que ces variations étaient comprises pour l'année 1862 entre 2°,15 observés comme moyenne au printemps, et 4°,04 représentant la moyenne de l'hiver.

Enfin, l'un de nous, en étudiant avec M. l'ingénieur Mille la question de l'épuration des eaux par la chaux, s'est servi avec le plus grand succès de l'hydrotimétrie pour déterminer avec précision les proportions de bicarbonate de chaux contenues dans les eaux, la quantité de chaux nécessaire pour le préci-

---

(1) *Journal de pharmacie et de chimie*, 1865, t. I, p. 209.
(2) *Journal de pharmacie et de chimie*, 1863, t. XLVI, p. 274.

piter et les titres des eaux ainsi adoucies et dépouillées de leurs propriétés incrustantes (1).

Nous ne citerons ici que pour mémoire les recherches de M. Filhol sur les eaux de la Haute-Garonne, de M. Cailletet sur celles du département des Ardennes, de M. Bardy sur celles du département des Vosges, de M. l'ingénieur Dieudonné sur les eaux de toutes les stations du chemin de fer de l'Est, de M. Bricemoret sur celles du département de l'Indre, de MM. Brauwers, Viltard et Dupuis sur les eaux de la Lombardie (2), et sans parler de tant d'autres qui ont été exécutées dans ces dernières années, nous nous hâtons d'aborder la question des matières organiques contenues dans les eaux : il nous importe, en effet, d'exprimer notre pensée sur ces matières, puisque c'est en leur attribuant le rôle principal, au point de vue de la qualité des eaux, que l'on a prétendu réduire les enseignements de l'hydrotimétrie à un intérêt secondaire.

Nous venons de démontrer par des faits que ces enseignements, même bornés au simple titre hydrotimétrique, suffisent, dans le plus grand nombre des cas, pour établir la qualité des eaux, lorsque d'ailleurs elles sont limpides, sans odeur ni saveur, et que plus complets ils répondent à toutes les exigences de la pratique à l'égard de la nature et des proportions des sels terreux. Ces applications de notre méthode sont assez importantes pour que nous puissions nous en applaudir, ce sont les seules que nous ayons revendiquées, et jamais nous

---

(1) F. Boudet, *Rapport sur les travaux du Conseil de salubrité de la Seine*, 1861, p. 34. — A l'aide de la chaux, le degré hydrotimétrique de l'eau de Seine a été abaissé de 20°,5 à 4°; celui de l'eau d'Ourcq de 30° à 9°.

(2) *Journal de pharmacie et de chimie*, t. XXXVII, p. 324.

n'avons prétendu qu'elles pussent s'étendre au delà de ces limites et fournir aucune lumière sur les matières organiques.

L'hydrotimètre est pour les eaux de sources et de rivières, comme l'alcoomètre pour les spiritueux, une commune et rigoureuse mesure. Le premier indique les proportions des sels terreux, le second celles de l'alcool; tous deux servent à établir, dans des conditions bien déterminées, la valeur des liquides auxquels ils s'appliquent.

Mais, a-t-on dit, au point de vue de la qualité et de la salubrité des eaux potables, les matières organiques ont une importance tout à fait prépondérante; l'hydrotimétrie n'embrasse que le petit côté de la question, et une eau peut être infiniment supérieure à une autre pour ses qualités les plus essentielles, bien qu'elle ait un titre hydrotimétrique beaucoup plus fort.

Oui, sans aucun doute, lorsqu'on envisage des cas particuliers, lorsqu'on examine une eau infectée par les égouts d'une immense capitale, comme celle de la Seine, sous Paris, il ne suffit pas de connaître son degré hydrotimétrique et les divers sels terreux qu'elle contient pour apprécier sa qualité ; il est nécessaire de prendre en grande considération les matières organiques dont elle est souillée. Mais est-il juste d'apprécier une méthode générale dans des conditions aussi extraordinaires? Peut-on dire qu'une eau manifestement altérée, qu'une eau prise au voisinage d'un grand égout, soit une eau de rivière dans la généralité du mot? Est-il besoin d'essais chimiques pour juger une eau si évidemment altérée? Ne sait-on pas ce que lui apportent les affluents impurs qu'elle reçoit? Est-il besoin d'y constater la présence de l'urée pour savoir qu'elle est mélangée de déjections dégoûtantes? Est-elle limpide, sans odeur ni saveur? N'est-il pas hors de doute *à priori* qu'elle est mau-

vaise, impure et insalubre? Dans de pareilles circonstances, l'analyse chimique si délicate qu'elle soit, ne devient-elle pas insignifiante en présence des caractères que l'on peut tirer de l'aspect, de l'odeur et de la saveur de l'eau?

Mais s'il s'agit des eaux de sources et de rivières en général et notamment de l'eau de la Seine elle-même, en amont de Paris, alors qu'elle est claire, limpide, sans odeur ni saveur, le titre hydrotimétrique est certainement de la plus grande importance et suffit pour établir la qualité de ces eaux; toutefois, lorsqu'on veut approfondir davantage la question des matières organiques qui peuvent se trouver en dissolution dans les eaux, on peut, comme l'a fait remarquer M. Dumas, comme l'a pratiqué M. Girardin, laisser pendant vingt à trente jours une certaine quantité d'eau dans une jarre ou dans un ballon, à la température de 20 à 25 degrés, et si à la fin de l'expérience l'eau a conservé sa limpidité et son goût agréable, surtout si les premiers produits de sa distillation n'offrent ni odeur ni saveur, l'épreuve est décisive, la plus fine analyse n'apprendrait rien de plus : cette eau est exempte de matières organiques ou n'en contient que des traces, et présente à ce point de vue les plus complètes garanties de salubrité.

Le titrage hydrotimétrique des eaux, leur dégustation immédiate, puis après un mois d'exposition à une température de 20 à 30 degrés, et l'essai par l'azotate de baryte, sont donc en somme les seules épreuves nécessaires pour distinguer les eaux qui peuvent être considérées comme potables et être employées à l'alimentation, de celles qui doivent être exclues de ces usages, et même pour avoir une mesure exacte de la qualité des premières.

Loin de nous toutefois la pensée de dédaigner les autres pro-

cédés d'investigation propres à faire pénétrer plus avant dans la connaissance des matières organiques en dissolution dans les eaux et à constater leurs proportions; mais il n'est pas hors de propos d'examiner ici ces procédés afin d'attribuer à chacun d'eux le degré d'importance qui lui appartient.

Dans l'examen des matières organiques que contiennent les eaux il y a trois choses à considérer : 1° leur proportion; 2° leur nature et leur état d'altération ou de fermentation; 3° leur insalubrité.

Pour déterminer les proportions de la matière organique dans les eaux, la méthode la plus simple, ce nous semble, est celle qui a été employée par l'un de nous dans ses recherches sur la salubrité de l'eau de la Seine (1).

Cette méthode consiste à évaporer une certaine quantité d'eau, à dessécher le résidu à 110 degrés, à le peser, à le calciner ensuite pour détruire la matière organique, à régénérer par le carbonate d'ammoniaque les carbonates que la calcination peut avoir décomposés, à sécher à 110 degrés et à peser de nouveau; la différence entre les deux pesées indique le poids de la matière organique.

Veut-on se rendre compte de la nature de cette matière? Son examen ne peut fournir que des indications très-vagues, car elle est toujours un mélange plus ou moins complexe de produits extractifs d'origine végétale ou animale; aussi après l'avoir obtenue à l'état sec par évaporation de l'eau, se borne-t-on or-

---

(1) F. Boudet, *Discours à l'Académie de médecine.* (*Journal de pharmacie et de chimie*, t. XLIII, p. 289.) — *Tableau d'analyses* (*Journal de pharmacie*, 1861, t. XL, p. 355).

dinairement à constater si elle a une odeur plus ou moins désagréable et si elle dégage des vapeurs ammoniacales quand on la chauffe avec la potasse.

Le degré d'altération ou de fermentation de la matière organique offre plus d'intérêt, car indépendamment de la répugnance qu'elle inspire, toute matière altérée ou en voie de décomposition est avec raison réputée insalubre. Or la fermentation de la matière organique se révèle par l'ammoniaque qui en est le produit le plus caractéristique et qui peut en quelque sorte servir à en mesurer le développement. Aussi en distillant l'eau dont il s'agit, et dosant l'ammoniaque dans les premiers produits, à l'aide d'un acide titré, conformément au procédé de M. Boussingault, on apprécie avec une grande exactitude l'état de fermentation de la matière organique et le degré d'insalubrité qu'elle présente.

Telles sont les seules épreuves chimiques qu'il soit utile de tenter sur la matière organique des eaux, et il faut avouer qu'elles n'offrent un véritable intérêt et ne sont réellement motivées qu'autant qu'il s'agit de comparer entre elles des eaux plus ou moins insalubres. La dégustation pratiquée immédiatement ou après un mois de conservation, sur l'eau elle-même, et mieux encore sur les premiers produits de sa distillation, est tout à fait suffisante et plus sûre, lorsqu'il s'agit de constater si une eau est bonne à boire et propre à l'alimentation.

En définitive, et c'est là ce que nous avons eu pour but de démontrer dans cet avant-propos, l'hydrotimétrie donne les moyens de résoudre, au point de vue chimique, toutes les questions relatives à la qualité des eaux de sources et de rivières, en tant que ces eaux se trouvent dans les conditions ordinaires et ne sont pas altérées par des circonstances accidentelles; et en de-

hors de ces conditions elle fournit encore des données extrêmement importantes.

Au reste, toutes les épreuves vraiment utiles pour déterminer la qualité des eaux peuvent être résumées dans les termes suivants :

1° Observer la limpidité des eaux;

2° Constater si elles sont odorantes, si elles ont une saveur agréable, en les dégustant immédiatement d'abord, puis après un mois de conservation à une température de 20 à 30 degrés, et même après les avoir soumises à une distillation fractionnée pour concentrer leur odeur et leur saveur dans les premiers produits et les rendre plus sensibles;

3° Prendre le degré hydrotimétrique, et reconnaître la présence ou l'absence des sulfates par l'azotate de baryte;

4° Déterminer hydrotimétriquement la nature et les proportions des sels de chaux et de magnésie ;

5° Évaporer une certaine quantité d'eau et examiner si en chauffant le résidu avec la potasse on obtient un dégagement d'ammoniaque;

6° Doser l'ammoniaque contenue dans l'eau elle-même, par le procédé de M. Boussingault, avec une liqueur acide titrée;

7° Doser la matière organique par calcination du résidu de l'évaporation, en suivant le procédé ci-dessus décrit, page 14.

Dans la plus grande généralité des cas, les trois premières épreuves suffisent pour apprécier la qualité d'une eau potable ainsi que sa valeur pour la préparation des aliments et la plupart des applications industrielles; il n'est besoin de recourir aux autres épreuves que dans des circonstances spéciales.

HYDROTIMÉTRIE.

NOUVELLE MÉTHODE

POUR DÉTERMINER

LES PROPORTIONS DES MATIÈRES MINÉRALES

EN DISSOLUTION DANS LES EAUX DE SOURCES

ET DE RIVIÈRES.

La connaissance des matières qui existent en dissolution dans les eaux répandues à la surface de la terre, est assurément un des sujets les plus vastes et les plus féconds qui puissent être proposés aux investigations de la science ; elle intéresse tout à la fois l'industrie, l'agriculture et l'hygiène.

A toutes les époques, chez tous les peuples, la qualité des eaux a été l'objet d'une préoccupation constante, et l'on n'a pas hésité à leur attribuer soit des effets pathologiques accidentels, soit des maladies endémiques. Le temps et l'expérience n'ont pas ébranlé cette opinion ; d'instinctive qu'elle était d'abord avant que la chimie ait fait connaître la composition des eaux, elle est devenue aujourd'hui une conviction d'autant plus ferme qu'elle est plus éclairée.

L'eau, en effet, n'est-elle pas, après l'air, une des substances qui peuvent exercer sur l'organisme l'influence la plus profonde, et qui méritent au plus haut degré l'attention des médecins hygiénistes?

Aussi voit-on, chez les peuples les plus puissants et les plus avancés dans la civilisation, la question des eaux prendre en ce moment une importance très-considérable et mettre en jeu les intérêts les plus divers et les plus graves.

Il faut l'avouer, cependant, la science est loin encore de posséder tous les documents nécessaires à la solution des problèmes que ces grands intérêts soulèvent, et de pouvoir fournir les éléments d'une exacte évaluation des eaux de sources et de rivières, au point de vue de leur valeur hygiénique, de leur application aux usages domestiques et aux besoins de l'industrie et de l'agriculture.

Assurément, de nombreuses analyses ont été faites, et l'*Annuaire des eaux de la France* paraît être un riche inventaire des observations recueillies sur les eaux de nos grands fleuves et de nos principales rivières; mais si l'on considère que ces analyses ont été exécutées en très-petit nombre pour chacun de ces immenses cours d'eau, et sans que leurs auteurs aient tenu compte des variations que l'élévation ou l'abaissement du niveau des eaux, les pluies plus ou moins abondantes, les fontes de neiges, la prédominance de tels ou tels affluents, les changements de saison et de température ont dû produire dans les proportions des matières dont elles sont chargées, on comprendra

que les résultats de ces analyses sont loin de fournir les données indispensables pour apprécier les vicissitudes que les eaux présentent dans leur composition, pour discuter les causes de ces vicissitudes, et enfin pour déterminer la valeur moyenne de chacune aux divers points de vue de ses usages.

A quoi faut-il attribuer cette insuffisance des documents de la science sur une partie si importante de ses applications ? Serait-ce aux hommes qui se sont occupés de cette question? Mais leurs noms offrent toute garantie. Serait-ce aux procédés de l'analyse? Mais ils sont pour la plupart d'une délicatesse et d'une sûreté qui ne sauraient être mises en doute. Cependant, il faut l'avouer, ces procédés sont d'une extrême lenteur ; pour être mis en œuvre, ils réclament une main habile et exercée, et c'est une tâche bien ingrate que d'employer à des recherches, toujours circonscrites dans le même cercle, un temps qui pourrait être consacré à des travaux plus brillants.

De là vient que, malgré la valeur réelle de chacun d'eux, les résultats consignés dans les annales scientifiques sont véritablement peu de chose, si on les compare à ceux qui seraient nécessaires pour servir de base à une statistique exacte, non pas des eaux de la France, mais seulement des eaux de la Seine dans toute l'étendue de son cours.

Il est à remarquer d'ailleurs que ce n'est guère qu'à dater des belles recherches exécutées en 1816 par MM. Thenard et Colin, sur les eaux de la Seine et des affluents du canal de l'Ourcq, que l'analyse a été ap-

pliquée à l'étude des eaux douces de manière à fournir des données comparables.

Ainsi, il faut bien le reconnaître, l'histoire des eaux douces est à peine ébauchée, faute de matériaux assez variés et assez nombreux pour lui donner une base de quelque étendue, et cette insuffisance de matériaux résulte de la lenteur des méthodes d'analyse et des difficultés qu'elles présentent dans leurs applications.

Cela est si vrai que les conditions essentielles de la salubrité des eaux potables ne sont pas encore fixées, et que l'influence de l'action continue que les matières en dissolution dans ces eaux exercent sur l'état sanitaire des populations est restée un problème des plus obscurs.

Que d'hypothèses diverses et souvent contradictoires, en effet, soit dans le domaine des idées instinctives et populaires, soit dans le domaine de la science, sur la salubrité ou l'insalubrité relative des eaux potables, sur le rôle hygiénique de chacune des substances gazeuses ou salines qui s'y rencontrent, et quel est le chimiste ou le médecin qui oserait affirmer aujourd'hui que les eaux les plus pures sont les plus salutaires, et que parmi les matières que la nature a répandues dans la plupart des sources et des rivières, il n'en est pas quelques-unes, telles que l'oxygène, l'acide carbonique, le bicarbonate de chaux, par exemple, qui répondent à un besoin constant de l'économie et qui soient plus ou moins nécessaires à l'équilibre de ses fonctions? N'assigne-t-on pas aujourd'hui une importance considérable à l'iode et à la magnésie contenus dans les eaux? N'est-il pas vrai que le sentiment

populaire attribue aux eaux même les plus douces des vertus curatives ou nuisibles ; qu'il les accuse de l'altération des dents, de la production du goître et du crétinisme, et que la science, impuissante jusqu'à ce jour à expliquer ces phénomènes, cherche plutôt à s'éclairer de ces préjugés, et à les soumettre à une étude attentive, qu'à les reléguer au rang des erreurs de l'imagination ?

La conséquence naturelle qu'il faut déduire, selon nous, de ces considérations, c'est que la carrière ouverte devant l'hydrologie est immense, que la rareté des documents qu'elle a pu recueillir et les difficultés qui se sont opposées jusqu'ici à leur multiplicité l'ont retenue dans des limites très-étroites ; et telle est la vérité de cette opinion qu'au moment où l'administration municipale de Paris s'occupe des moyens de fournir à cette grande cité une eau qui puisse remplir les meilleures conditions de salubrité pour la population, et répondre aux diverses exigences de son industrie, elle se trouve dans une grande incertitude pour arrêter son choix et qu'elle est obligée de demander à la science de nouvelles études.

Au milieu de ce mouvement rapide qui emporte l'industrie vers des perspectives si nouvelles et si étendues, au milieu de ces travaux entrepris avec tant de hardiesse et exécutés avec une si merveilleuse promptitude pour l'assainissement des villes, la question des eaux seule marche avec une lenteur qui n'est pas en harmonie avec la vive allure de notre époque. Les procédés d'analyse chimique doivent-ils donc rester stationnaires,

et le moment n'est-il pas venu de chercher à les faire participer au mouvement qui se révèle partout aujourd'hui dans le domaine des applications scientifiques?

Déjà la nécessité d'une marche plus prompte dans la pratique usuelle de la chimie a préoccupé des esprits très-distingués : Descroizilles et Gay-Lussac ont jeté le germe d'un nouveau système d'analyse en créant l'alcalimétrie, l'alcoométrie, la chlorométrie, et préparant ainsi les remarquables progrès que la méthode des volumes a fait faire à l'analyse chimique.

Étendre ce nouveau système d'expérimentation si rapide et si sûr, est assurément un des buts les plus utiles que puissent se proposer les chimistes jaloux de faire sortir de la science abstraite de bienfaisantes et populaires applications.

Occupés depuis longtemps de l'étude des eaux douces, pénétrés des avantages qui, au point de vue de l'hygiène, de l'agriculture et de l'industrie, résulteraient de la connaissance exacte de la composition des eaux répandues à la surface de chaque contrée, nous nous sommes attachés à la recherche de moyens d'investigation plus simples et plus faciles que ceux qui sont aujourd'hui en usage, et nous avons l'espoir d'avoir accompli un progrès réel dans cette voie.

La méthode que nous proposons a pour point de départ les curieuses observations du docteur Clarke sur l'emploi de la teinture alcoolique du savon pour mesurer la dureté des eaux. Elle est fondée sur la propriété si connue que possède le savon de rendre l'eau pure mousseuse et de

ne produire de mousse dans les eaux chargées de sels terreux et particulièrement à bases de chaux et de magnésie, qu'autant que ces sels ont été décomposés et neutralisés par une portion équivalente de savon et qu'il reste un petit excès de celui-ci dans la liqueur.

La dureté d'une eau étant proportionnelle aux sels terreux qu'elle contient, la quantité de teinture de savon nécessaire pour y produire la mousse peut donner la mesure de sa dureté.

Tel est le principe que le docteur Clarke a établi, et à l'aide d'une burette graduée et d'une liqueur titrée qu'il a mises en usage en Angleterre, on peut apprécier la dureté des eaux et la proportion de matières incrustantes qu'elles déposent sous l'influence d'une ébullition prolongée (1).

C'est au développement de ce principe que nous nous sommes attachés, convaincus qu'il pouvait fournir un procédé facile et rapide pour doser, dans les eaux de sources et de rivières, les principales substances qu'elles contiennent, telles que la chaux et la magnésie, et les acides avec lesquels ces bases s'y trouvent le plus ordinairement combinées.

Le fait fondamental sur lequel nous nous appuyons est donc la production de la mousse dans l'eau pure par le savon et l'obstacle que les bases terreuses apportent à cette production en transformant le savon en composés insolubles.

---

(1) *Note on the Examination of Water for Towns, for its Hardness, and for the incrustation it deposits on boiling.*

Vient-on, en effet, à verser quelques gouttes d'une teinture alcoolique de savon dans un flacon renfermant, par exemple, 40 centimètres cubes ou 40 grammes d'eau distillée, si l'on agite le mélange, il se forme immédiatement à la surface du liquide une couche de mousse légère et persistante; mais si au lieu d'eau distillée on emploie une eau plus ou moins calcaire ou magnésienne, le phénomène de la mousse n'apparaît qu'autant que la chaux ou la magnésie contenues dans cette eau ont été neutralisées par une quantité proportionnelle de savon, et que l'on a ajouté un léger excès de celui-ci qui, ne rencontrant plus de chaux ni de magnésie, manifeste ses propriétés, comme s'il se trouvait en dissolution dans l'eau pure.

La proportion de savon exigée par 40 centimètres cubes d'une eau quelconque pour produire une mousse persistante donne donc la mesure de la quantité de sels calcaires ou magnésiens contenus dans cette eau, et, comme pour la plupart des eaux de sources et de rivières, la chaux et la magnésie sont les principales matières qui, combinées avec différents acides, influent réellement sur leur qualité, il est évident qu'en déterminant les proportions qu'elles renferment de ces bases, on détermine la valeur de ces eaux relativement au plus grand nombre de leurs usages.

La formation de la mousse à la surface de l'eau est d'ailleurs un phénomène si saillant, la proportion de savon que nous avons reconnue nécessaire pour la produire (un décigramme par litre) est si faible, et le moment où une eau calcaire ou magnésienne cesse de

neutraliser le savon et devient mousseuse par l'agitation, est si facile à saisir, qu'une dissolution alcoolique de savon peut être considérée comme un réactif extrêmement sensible pour déceler et doser les sels calcaires et magnésiens dans des liquides très-étendus tels que les eaux de sources et de rivières. Le mérite essentiel de ce réactif résulte, il faut le remarquer, de cette circonstance, qu'il indique immédiatement lui-même par un phénomène très-saillant, celui de la mousse, la limite de l'action que les bases terreuses exercent sur lui.

Nous employons le savon à l'état de dissolution alcoolique, et pour éviter les inconvénients qui résulteraient de la composition variable des savons du commerce, nous titrons cette liqueur d'épreuve, au moyen d'une dissolution de chlorure de calcium (1) fondu, contenant $\frac{1}{4000}$ de son poids, ou 0gr.,25 de ce sel par litre d'eau distillée.

Voici la méthode à suivre pour la préparation de cette liqueur :

---

(1) On peut substituer au chlorure de calcium une proportion chimiquement équivalente de tout autre sel capable de former avec les acides gras du savon une combinaison insoluble, tel que le chlorure de baryum, l'azotate de baryte, etc. M. Marchand, de Fécamp, a fait remarquer, avec raison, que l'azotate barytique est plus facile à manier que le chlorure de calcium qui est déliquescent; mais au point de vue de la graduation de notre burette, ce dernier sel offrait des avantages qui ont dû nous le faire préférer.

L'équivalent de 0gr.,25 de chlorure de calcium, en azotate de ryte, étant 0gr.,59, c'est cette proportion qu'on doit leur substituer pour obtenir une dissolution barytique de même degré.

On prend :

Savon blanc de Marseille.	100 gr. (1)
Alcool à 90° centésimaux	1600

On dissout le savon dans l'alcool en chauffant jusqu'à l'ébullition, on filtre pour séparer les sels et les matières étrangères insolubles dans l'alcool, que le savon peut contenir, et on ajoute à la dissolution filtrée :

Eau distillée pure à 0° hydrotimétrique. . .	1000
On obtient ainsi.	2700 gr.

d'une liqueur qui doit avoir un titre très-rapproché de celui que nous avons fixé, mais qui ne peut être employée cependant sans être soumise à un essai qui en constate la valeur réelle.

Cet essai s'exécute avec les mêmes appareils que nous avons adoptés pour déterminer la composition des eaux, c'est-à-dire au moyen d'une petite burette graduée et d'un flacon bouché à l'émeri de 60 à 80 centimètres cubes de capacité, jaugé à 40 centimètres cubes, par un trait circulaire. (Voy. la planche, p. 43.)

La graduation de la burette est faite de telle manière qu'une capacité de 2 centimètres cubes et quatre dixièmes, prise à partir d'un *trait circulaire*, tracé au sommet de la burette, se trouve divisée en 23 parties égales et que les divisions suivantes sont parfaitement égales aux premières.

(1) D'après M. Robinet, lorsque, dans cette formule, on substitue au savon blanc de Marseille 100 gr. de savon médicinal dit amygdalin bien sec, on obtient immédiatement une liqueur hydrotimétrique à 22°.

Chaque division représente un degré ; mais bien que pour chaque expérience la burette doive être rechargée jusqu'au trait circulaire, le 0° n'est marqué qu'au-dessous de la première division. Pour expliquer cette particularité, nous devons faire observer que la proportion d'eau que nous avons adoptée pour chaque expérience est un vingt-cinquième de litre, ou 40 centimètres cubes, et que, quelle que soit la composition de cette eau, nous la considérons comme formée de 40 centimètres cubes d'eau pure, et d'une proportion quelconque de matières capables de décomposer le savon. Or, pour acquérir une certaine viscosité et devenir capable de produire une mousse persistante, 40 centimètres cubes d'*eau pure* exigeant une division de liqueur d'épreuve, la première division de la burette a été réservée pour cet usage, et laissée en dehors de la graduation, afin que les divisions suivantes représentassent uniquement et réellement la quantité de savon décomposé par les matières tenues en dissolution dans l'eau.

La liqueur d'épreuve doit être titrée de manière que les 23 divisions de la burette comprises entre le trait circulaire marqué au-dessus de 0° et le chiffre 22, c'est-à-dire 22 degrés effectifs, soient rigoureusement nécessaires pour produire une mousse persistante avec 40 centimètres cubes de la dissolution de chlorure de calcium à $\frac{1}{4000}$, dissolution que nous appelons *normale*.

En conséquence, lorsque la liqueur savonneuse a été préparée dans les proportions que nous venons d'indiquer, on détermine par une expérience le nombre

de degrés que 40 centimètres cubes de dissolution normale de chlorure de calcium en exigent, pour produire une mousse persistante; si le nombre de degrés observé est 22, la liqueur savonneuse est parfaite; mais s'il est inférieur à 22°, on étend cette liqueur d'une nouvelle quantité d'eau, en calculant qu'il faut environ 1/23ᵉ de son poids d'eau pour en diminuer la force de 1°. On fait ensuite un nouvel essai, et on ne s'arrête qu'autant que l'on a obtenu le titre voulu.

D'après ce qui précède, la dissolution normale de chlorure de calcium étant faite avec 25 centigrammes de chlorure pour un litre d'eau, contient évidemment 1 centigramme de ce sel pour un vingt-cinquième de litre ou 40 grammes.

De là résulte que 22 degrés de liqueur d'épreuve sont neutralisés par 1 centigramme de chlorure, que 1 degré correspond à $\frac{0,01}{22} = 0,00045$ de ce sel, et enfin que chaque degré de liqueur d'épreuve neutralisée par 40 centimètres cubes de dissolution normale représente $\frac{0^{gr.},01 \times 25}{22} = 0,0114$ de chlorure de calcium dans un litre de cette même dissolution.

Ainsi, comme il est possible, à un demi-degré près, de juger le moment où il se produit une mousse persistante à la surface d'une dissolution, il est évident :

1° Que la liqueur d'épreuve peut accuser $\frac{0,00045}{2}$ soit un quart de milligramme de chlorure de calcium

dans 40 grammes d'eau, et doser avec plus d exactitude encore tout autre sel terreux dont l'équivalent chimique serait plus considérable ;

2° Qu'en opérant sur 40 centimètres cubes d'une dissolution de chlorure de calcium, on reconnaît à $\frac{0^{gr.},0114}{2} = 0^{gr.},0057$, soit à 5 ou 6 milligrammes près, la proportion de chlorure contenu dans un litre de cette dissolution.

D'autre part, si considérant, d'après l'analyse de M. Thenard, le savon marbré du commerce comme formé de

Soude.	6
Acides gras.	64
Eau..	30
	100

on prend, pour son équivalent chimique, le nombre 6453, et si, multipliant $0^{gr.},25$ de chlorure de calcium par 6453, on divise ce produit par l'équivalent du chlorure de calcium 693,20, on obtient pour quotient $2^{gr.},326$ qui représentent la proportion de savon équivalente à $0^{gr.},25$ de chlorure de calcium.

De là cette conséquence qu'un litre de dissolution normale de chlorure de calcium doit exiger 23 décigrammes de savon, pour transformer les $0^{gr.},25$ de sel calcaire en savon insoluble. Or, comme la graduation de la burette d'essai a été calculée de telle manière, qu'en opérant sur 40 centimètres cubes de la dissolution normale, la division 23 et le degré 22 correspondent à la production de la mousse persistante, on peut

admettre que chaque degré de la burette représente un décigramme de savon neutralisé par un litre de cette dissolution (1). La composition de la liqueur d'épreuve et la graduation de la burette sont, comme on voit, réglées dans de telles conditions qu'en opérant sur 40 centimètres cubes d'une dissolution quelconque de chlorure de calcium, on peut savoir immédiatement, par le degré correspondant à la production de la mousse persistante, la proportion du chlorure contenu dans un litre de cette dissolution, et la proportion de savon qu'il doit neutraliser.

Il est évident d'ailleurs qu'une dissolution d'un sel de chaux, de magnésie, de baryte ou de toute autre base capable de former un composé insoluble avec les acides du savon, peut être analysée au moyen de la liqueur d'épreuve aussi facilement qu'une dissolution de chlorure de calcium ; qu'il serait facile de fixer, par un simple calcul de proportion, les poids correspondants à un degré de la burette, par chaque litre de dissolution, pour les sels à bases terreuses, et d'en dresser une table qui permettrait de connaître très-rapidement les résultats de ces analyses.

Si, au lieu d'une dissolution de chlorure de calcium, on soumettait à l'expérience une eau de source ou de

---

(1) Le nombre exact serait 0gr.,106 de savon pour chaque degré hydrotimétrique, au lieu de 0gr.,1. Dans un calcul rigoureux il faudrait multiplier le nombre de degré observé par 1,06, on aurait ainsi en décigrammes le poids juste du savon neutralisé par 1 litre de l'eau examinée.

rivière contenant, comme cela arrive le plus ordinairement, des sels de chaux et de magnésie (1), le degré observé indiquerait tout à la fois les proportions de chlorure de calcium, et de savon neutralisé, équivalentes à ces sels, pour un litre de l'eau examinée.

Rien de plus simple, dès lors, que d'obtenir ce double résultat pour une eau quelconque, puisqu'il suffit pour cela de déterminer, par une expérience rapide, combien 40 centimètres cubes de cette eau exigent de degrés de liqueur d'épreuve pour produire une mousse persistante.

Supposons, par exemple, qu'une eau ait donné le degré 20 ; ce degré fera connaître :

1° Le numéro d'ordre de l'eau examinée, dans une classification méthodique, qui aurait pour point de départ l'eau pure représentée par 0°;

2° La proportion de chlorure de calcium équivalente aux sels de chaux et de magnésie contenus dans un litre de cette eau, c'est-à-dire $0,114 \times 20 = 0^{gr.},228$;

3° La proportion de savon que neutraliserait un litre de cette eau, soit 20 décigrammes.

Nous avons donné à notre burette le nom d'*hydro-*

---

(1) Indépendamment des sels de chaux et de magnésie, les eaux de sources et de rivières peuvent contenir une petite quantité d'alumine, de silice, de sels de fer et de manganèse, qui forment aussi, avec les acides du savon, des combinaisons insolubles et dont la présence est également accusée par la liqueur d'épreuve. Leur influence vient donc s'ajouter à celle qu'exercent sur le savon les sels de chaux et de magnésie; mais il est à remarquer que dans la plupart des eaux de rivières ou de sources non minérales, ces matières ne se rencontrent qu'en proportions extrêmement faibles.

timètre (1) (mesure de la valeur de l'eau). Notre méthode d'essai constitue donc l'*hydrotimétrie*, et les eaux peuvent être classées d'après leurs degrés *hydrotimétriques* en les comparant à l'eau pure qui marque 0°.

Mais nous ne nous sommes pas bornés à déterminer en bloc la proportion de la chaux et de la magnésie contenue dans les eaux, nous avons cherché à étendre davantage les applications de l'hydrotimètre, et nous en avons fait un véritable moyen d'analyse quantitative et qualitative pouvant servir, non-seulement à déterminer la composition des eaux de sources et de rivières, abstraction faite des matières organiques qui peuvent s'y trouver en plus ou moins grandes quantités, mais encore à résoudre rapidement un grand nombre d'autres problèmes analogues.

Les substances minérales contenues dans les eaux de sources et de rivières consistent principalement en carbonates de chaux et de magnésie associés à des

---

(1) Les noms hydrotimètre (ὕδωρ, eau; τιμή, valeur; μέτρον, mesure) et hydrotimétrie, que nous avons proposés, ne sont pas à l'abri de toute critique, nous n'hésitons pas à l'avouer, et nous pensons avec M. Chevreul que notre méthode ne mériterait d'une manière absolue la qualification d'*hydrotimétrie* qu'autant qu'il serait constaté que la bonne qualité des eaux est précisément en raison inverse de la quantité de sels de chaux et de magnésie qu'elles contiennent, ce qui n'est pas démontré. Mais, si comme nous l'avons compris, on se borne à voir dans l'hydrotimétrie un moyen de reconnaître, non pas la valeur absolue des eaux, mais leur valeur relative et considérée au point de vue de leurs différents usages, on admettra, nous l'espérons, que cette dénomination n'est pas aussi défectueuse qu'elle le paraît au premier abord, et que, faute d'en avoir trouvé une plus exacte, nous avons pu l'adopter.

proportions variables, mais ordinairement très-faibles, de ces mêmes bases, à l'état de sulfates, d'azotates ou de chlorhydrates. On y trouve en outre quelques sels de soude et de potasse et des traces de carbonates de fer et de manganèse, de silice et d'alumine. La pureté de ces eaux et leur valeur, au point de vue de leurs usages, dépend donc surtout des proportions de chaux et de magnésie qu'elles contiennent, et de la nature des acides avec lesquels ces bases sont combinées. Aussi, dans la pratique, le but vraiment utile de l'analyse des eaux de sources et de rivières peut-il être le plus souvent atteint en se bornant à doser la chaux et la magnésie qui y existent, et à déterminer dans quelles proportions elles s'y trouvent combinées avec chacun des différents acides qui les saturent. Or, l'hydrotimétrie peut fournir ces données essentielles; toutefois, pour établir la véritable valeur et l'exactitude de cette méthode, il est nécessaire d'exposer les faits principaux qui lui servent de base, et que nous n'avons admis qu'après les avoir constatés ou vérifiés par nos expériences.

Ces faits sont au nombre de trois :

Le premier, c'est que la liqueur hydrotimétrique, préparée et titrée conformément à nos indications, se comporte, en présence des sels à bases terreuses capables de former des composés insolubles avec les acides gras du savon, comme un composé parfaitement défini, et exerce sur eux une action exactement proportionnelle à leurs équivalents chimiques.

Le second c'est que, dans les limites dans lesquelles

l'hydrotimètre peut donner des indications exactes, c'est-à-dire en opérant sur des eaux dont le degré ne s'élève pas au-dessus de 25 à 30 degrés, les proportions de sels de soude ou de potasse qui s'y trouvent ordinairement sont sans action sur la liqueur hydrotimétrique.

Le troisième enfin, c'est que le carbonate de magnésie étant beaucoup moins insoluble dans l'eau que le carbonate de chaux, surtout à froid, lorsqu'une eau contient des bicarbonates de chaux et de magnésie seulement, ou ces mêmes sels associés à d'autres sels de chaux et de magnésie, les réactions suivantes se produisent sous l'influence de l'ébullition convenablement prolongée.

1° Si l'eau contient des bicarbonates de chaux et de magnésie, avec ou sans autres sels de magnésie, pendant l'ébullition les bicarbonates sont transformés en carbonates, le carbonate de chaux se précipite soit seul, soit accompagné d'une petite quantité de carbonate de magnésie; mais par le refroidissement et l'agitation de la liqueur, ce dernier se redissout de manière qu'en filtrant on ne sépare que le carbonate de chaux.

2° Si les carbonates de chaux et de magnésie sont associés à un ou plusieurs autres sels de magnésie et de chaux, tels que des sulfates, azotates ou chlorhydrates et dans des proportions suffisantes pour que la chaux soit en excès, par rapport à l'acide des deux carbonates, il se fait pendant l'ébullition une telle répartition des acides entre les bases, que la liqueur se comporte comme si tout l'acide carbonique qu'elle renferme était

combiné avec la chaux, que la moitié de cet acide se dégage, tandis que l'autre moitié se précipite à l'état de carbonate de chaux, et qu'on retrouve dans la liqueur filtrée le reste de la chaux et la totalité de la magnésie combinées avec les acides sulfurique, azotique et chlorhydrique.

Ceci posé, si dans une eau quelconque, contenant des sels de chaux et de magnésie, on vient à verser de l'oxalate d'ammoniaque en proportion convenable, toute la chaux se précipite bientôt à l'état d'oxalate insoluble et peut être isolée par le filtre, tandis que la magnésie reste dissoute à l'état d'oxalate ammoniaco-magnésien. Le degré hydrotimétrique de cette dissolution représente la magnésie qu'elle contient, et si l'on retranche ce degré de celui de l'eau elle-même avant la précipitation, la différence entre ces deux degrés doit représenter, à son tour, la quantité totale de la chaux qui existait dans l'eau examinée.

D'autre part, si l'on soumet une nouvelle portion de cette eau à une ébullition prolongée pendant une demi-heure, si on la ramène à son volume primitif avec de l'eau distillée, et si on la filtre après l'avoir laissé refroidir et après l'avoir agitée, on en isole le carbonate de chaux que l'ébullition a précipité, et son degré hydrotimétrique, comparé à celui qu'elle avait avant l'ébullition, fait connaître, par différence, la proportion de carbonate de chaux qu'elle a perdue.

Ainsi en prenant :

1° Le degré hydrotimétrique d'une eau quelconque ;

2° Le degré hydrotimétrique de cette même eau précipitée par l'oxalate d'ammoniaque et filtrée;

3° Le degré de cette eau soumise à une ébullition de trente minutes, agitée et filtrée après son refroidissement,

On peut connaître :

1° Le rang ou le numéro d'ordre de cette eau dans l'échelle hydrotimétrique;

2° La proportion de savon qu'elle neutralise par litre,

3° La proportion de chaux qu'elle contient;

4° La proportion de magnésie;

5° La proportion de carbonate de chaux qui s'en précipite sous l'influence d'une ébullition prolongée.

Toutes ces données sont obtenues, comme on voit, à l'aide d'un seul réactif, par des procédés aussi simples que rapides, et au premier abord elles semblent suffisantes pour établir la valeur relative d'une eau quelconque.

Mais indépendamment des matières fixes qui existent en dissolution dans les eaux douces, on y rencontre un élément gazeux, l'acide carbonique libre, qui s'y trouve constamment associé à l'air atmosphérique. Ce gaz est loin d'être sans influence sur la salubrité et sur la valeur agricole et industrielle de ces eaux; leur analyse n'est donc complète et ne peut atteindre entièrement son but, qu'autant qu'elle fait connaître la proportion d'acide carbonique qu'elles contiennent; aussi cette donnée se trouve-t-elle ordinairement au nombre des résultats d'une analyse achevée; mais chacun sait combien elle est difficile à obtenir avec précision, quelle

incertitude présentent les procédés de dosage direct de l'acide carbonique libre, et quelles divergences existent sous ce point de vue entre les observations de la plupart des chimistes.

Un moyen d'apprécier l'acide carbonique libre serait donc une utile acquisition pour l'étude des eaux, et viendrait ajouter à notre méthode un complément nécessaire. La liqueur hydrotimétrique peut encore servir à cet usage. L'acide carbonique, en effet, décompose le savon; le docteur Clarke en a fait la remarque, et nous l'avons vérifiée par de nombreuses expériences.

Lorsqu'on fait passer un courant d'acide carbonique à travers une dissolution aqueuse de savon, elle se décompose, se trouble, devient laiteuse et perd la propriété de mousser par l'agitation. Si l'on recueille sur un filtre le précipité qui s'est formé, on voit qu'il présente les propriétés d'un savon avec excès d'acide gras. Soluble à chaux dans l'alcool, il lui communique la propriété de rougir légèrement le papier de tournesol; mis en contact avec l'éther, il ne s'y dissout pas, mais il lui cède une partie de son acide; insoluble dans l'eau froide, il se divise dans l'eau bouillante et la rend laiteuse.

Abandonnée à elle-même, la liqueur savonneuse décomposée par l'acide carbonique se régénère lentement et reprend la propriété de mousser par l'agitation. Chauffée, elle dégage de l'acide carbonique, s'éclaircit et revient à l'état de dissolution savonneuse.

Ainsi un courant d'acide carbonique décompose le

savon dissous dans l'eau en savon avec excès d'acide et en bicarbonate de soude. 1 équivalent d'acide carbonique correspond exactement dans cette réaction à 1 équivalent de savon.

Mais ce n'est point ainsi que les choses se passent quand on verse peu à peu, dans de l'eau légèrement chargée d'acide carbonique, la dissolution alcoolique de savon qui constitue la liqueur hydrotimétrique. La proportion de cette liqueur neutralisée par l'acide carbonique représente seulement un équivalent de savon pour 2 équivalents d'acide carbonique. Cette différence d'action de l'acide carbonique sur le savon, suivant qu'il traverse à l'état de courant une eau savonneuse plus ou moins concentrée, ou que dissous dans l'eau il est mis en contact peu à peu avec la liqueur hydrotimétrique, est un fait curieux, mais qui s'explique cependant lorsque l'on considère les conditions très-différentes dans lesquelles les phénomènes se produisent.

Si, calculant d'après cette observation, le rapport qui existe entre la liqueur hydrotimétrique et l'acide carbonique, on évalue les degrés de l'hydrotimètre correspondants à une dissolution d'acide carbonique, contenant un volume de ce gaz, on voit que 40 centimètres cubes ou 1/25 de litre de cette dissolution doivent exiger 218 divisions ou degrés de liqueur hydrotimétrique. En effet le poids d'un litre d'acide carbonique étant 1gr.,974, et l'eau en dissolvant un volume égal au sien, dans un litre d'eau saturée de ce gaz il s'en trouve nécessairement 1gr.,974. Or, l'équivalent de l'acide carbonique étant 275 et celui du chlorure de calcium 693,

il est manifeste que $1^{gr.},974$ de cet acide équivaut à $1^{gr.},974 \times \frac{693}{275} = 4^{gr.},97$ de chlorure de calcium.

D'autre part, la dissolution normale de chlorure de calcium à 22° contenant par litre $0^{gr.},25$ de ce sel, la dissolution d'acide carbonique qui équivaudrait à une dissolution de chlorure contenant $4^{gr.},97$ par litre devrait exiger :

$22° \times \frac{4,97}{0,25} = 437°,3$; mais comme deux équivalents d'acide carbonique neutralisent un équivalent de savon, il faut prendre seulement la moitié de 437°,3, c'est-à-dire 218°,6 pour représenter le degré hydrotimétrique d'une dissolution saturée d'acide carbonique, c'est-à-dire chargée d'un volume égal au sien de ce gaz.

Ce calcul montre que la liqueur hydrotimétrique doit être un réactif très-sensible pour l'acide carbonique en dissolution dans l'eau, puisqu'il suffit qu'une eau contienne $\frac{1}{100}$ de son volume de cet acide, pour accuser $\frac{218°,6}{100}$, soit 2°,186 ou 2°,19 à l'hydrotimètre. L'expérience nous a démontré, en effet, qu'une dissolution d'acide carbonique au dixième de son volume exigeait 21°,5 de liqueur hydrotimétrique ; qu'une dissolution au vingtième en exigeait 11°, et une dissolution au seizième 14°, ce qui est exactement conforme au calcul (1).

(1) Nous devons faire observer toutefois, que la réaction de l'acide carbonique sur la liqueur hydrotimétrique est moins prompte que celles des bases terreuses, et que les déterminations d'acide carbonique réclament une attention particulière.

Il résulte de ce qui précède que lorsqu'on soumet à l'épreuve de l'hydrotimètre une eau qui contient de l'acide carbonique libre, l'eau de Seine par exemple, une partie de la liqueur hydrotimétrique est neutralisée par l'acide carbonique, de façon que son degré ne représente pas seulement les sels de chaux et de magnésie, mais aussi l'acide carbonique libre qui les accompagne; la présence et les proportions variables de ce gaz troubleraient donc l'exactitude des résultats si elles n'étaient pas prises en considération, mais il est possible d'en tenir compte, en suivant la marche que nous allons décrire pour l'analyse des eaux douces. Toutefois avant d'exposer cette marche générale, il nous reste à faire connaître le procédé que nous avons appliqué à la détermination de l'acide sulfurique et du chlore qui se rencontrent souvent dans les eaux douces, en combinaison avec les bases. Voici en quoi il consiste :

On détermine d'abord le degré hydrotimétrique de l'eau à l'état naturel ; on soumet ensuite à l'ébullition pendant une demi-heure dans un ballon jaugé une certaine quantité de cette même eau, on laisse refroidir, on rétablit le niveau de l'eau bouillie avec de l'eau distillée, on agite pour opérer un mélange exact et on prend le degré hydrotimétrique. C'est dans cette eau que l'ébullition a dépouillée de l'acide carbonique et du carbonate de chaux que l'on recherche la proportion d'acide sulfurique et de chlore qui s'y trouvent à l'état salin. Son degré hydrotimétrique étant 16, par exemple, on prend 40 centimètres cubes de cette eau,

et on y ajoute l'équivalent de 16° d'azotate de baryte, c'est-à-dire 8/10 de centimètre cube d'une dissolution titrée de ce sel, représentant 20° pour 1 centimètre cube; on obtient ainsi une liqueur qui représente 32° hydrotimétriques dont 16° de baryte; mais la réaction de l'acide des sulfates contenus dans l'eau, sur la baryte, donne naissance à un dépôt de sulfate de baryte qui fait baisser ce degré proportionnellement à la quantité de ce sel qui s'est formé; et en effet, si, après avoir laissé déposer et filtré la liqueur, on prend son degré, on reconnaît qu'il est descendu à 20° par exemple; il y a donc eu perte de 12 degrés qui représentent 12° d'acide sulfurique ou de sulfate.

Pour déterminer le chlore des chlorures on suit exactement la même marche que pour l'acide sulfurique en substituant une solution neutre et titrée à 20 degrés d'azotate d'argent à la solution d'azotate de baryte (1).

Étant donné par ces expériences le nombre de degrés hydrotimétriques correspondant à l'acide sulfurique ou au chlore, on en déduit les proportions de ces corps en multipliant par ce nombre l'équivalent en acide sulfurique ou en chlore d'un degré hydrotimétrique, d'après la table d'équivalents inscrite à la page 56.

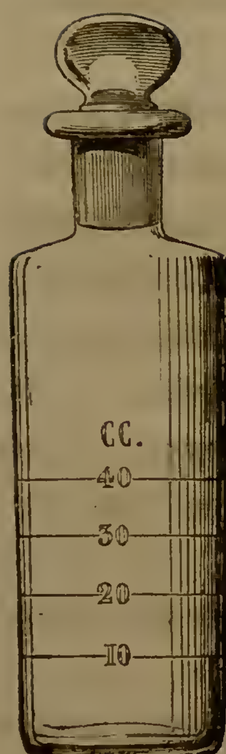
L'exposé qui précède des applications de l'hydroti-

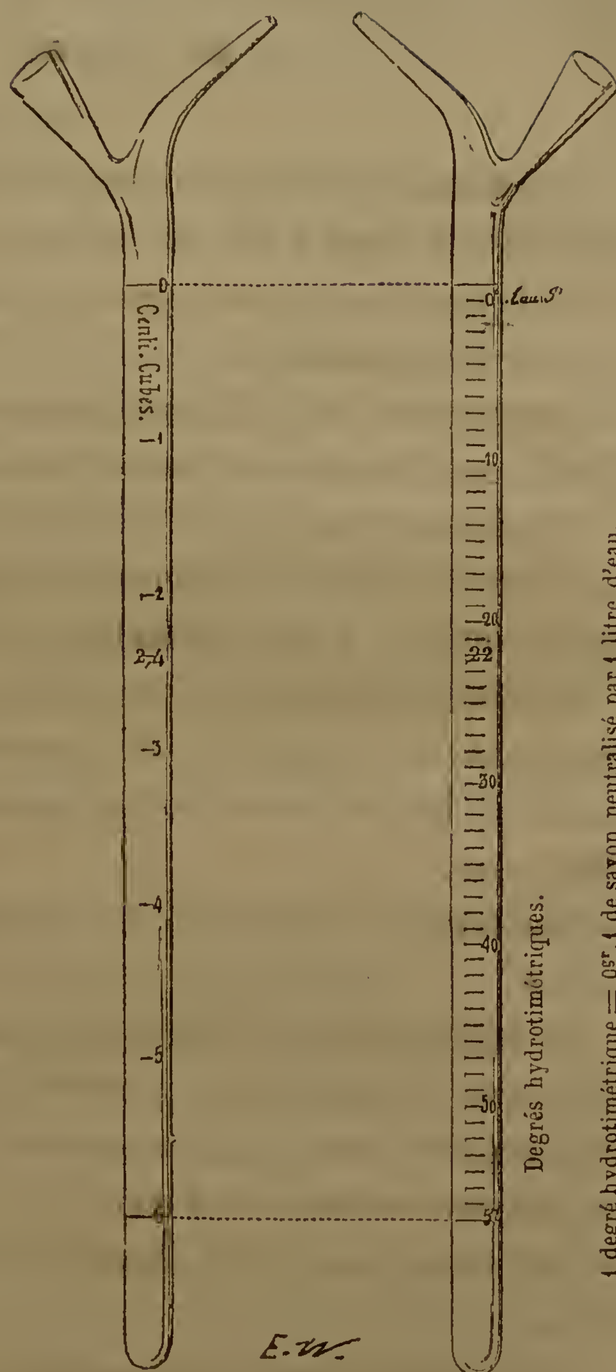
---

(1) Ces dissolutions se composent pour l'azotate de baryte de 2gr.,14 d'azotate pour 100 grammes d'eau, et pour l'azotate d'argent de 2gr.,78 de ce sel pour la même quantité d'eau.

mètre à l'analyse des eaux, montre que cet appareil suffit pour apprécier, non-seulement les proportions de chaux et de magnésie qu'elles contiennent, mais aussi celles du carbonate de chaux qui s'en précipite par une ébullition prolongée, et celles de l'acide carbonique libre et des sulfates et des chlorures qui s'y trouvent; il nous reste maintenant à faire connaître les appareils que l'on doit employer, et la marche générale que l'on doit suivre pour faire une analyse hydrotimétrique, Cette partie de notre mémoire sera tout à la fois le résumé de ce qui précède, et l'instruction destinée à guider les expérimentateurs dans l'emploi de l'hydrotimètre.

HYDROTIMÈTRE.





1 degré hydrotimétrique = $0^{gr},1$ de savon neutralisé par 1 litre d'eau.

INSTRUCTION SUR L'EMPLOI DE L'HYDROTIMÈTRE POUR DÉTERMINER LA COMPOSITION DES EAUX DE SOURCES ET DE RIVIÈRES.

Les essais hydrotimétriques s'exécutent au moyen d'un flacon jaugé à 10, 20, 30 et 40 centimètres cubes et de la burette graduée que nous avons désignée sous le nom d'*hydrotimètre*.

Chaque essai exige 40 centimètres cubes ou 40 gram. d'eau, que l'on mesure dans le flacon d'essai lui-même.

L'hydrotimètre est gradué de telle manière que le trait circulaire marqué au sommet de l'instrument est la limite que la liqueur y doit atteindre pour qu'il soit chargé.

La division comprise entre ce trait circulaire et 0°, représente la proportion de liqueur nécessaire pour produire le phénomène de la mousse avec l'eau distillée pure.

Les degrés à partir de 0 sont *les degrés hydrotimétriques*.

La composition de la liqueur a été calculée de manière que chaque degré représente $0^{gr.},1$ de savon neutralisé par 1 litre de l'eau soumise à l'expérience, et correspond soit à 0,0114 de chlorure de calcium, soit à $0^{gr.},01$ de carbonate de chaux pour la même quantité d'eau.

Le degré hydrotimétrique d'une eau indique donc immédiatement la proportion de savon qu'elle neutralise par litre, et la mesure de sa pureté.

L'hydrotimètre est non-seulement utile pour classer les eaux d'après leur pureté, il sert aussi à en faire dans certaines limites une analyse.

Le nécessaire hydrotimétrique contient tout ce qui est utile pour cette analyse ; il se compose :

1° D'un hydrotimètre ;

2° D'un flacon d'essai de 60 centimètres cubes de capacité et jaugé à 10, 20, 30 et 40 centimètres cubes par des traits circulaires ;

3° D'un flacon de liqueur hydrotimétrique (1) ;

4° D'un flacon d'eau distillée ;

5° D'un flacon d'une dissolution d'oxalate d'ammoniaque au soixantième ;

6° D'un flacon d'azotate de baryte titré à 20° pour 1 centimètre cube.

7° D'une pipette divisée en dixièmes de centimètre cube ;

8° D'un ballon jaugé par un trait circulaire marqué à la base du col ;

9° D'une lampe à esprit-de-vin avec un support pour maintenir le ballon au-dessus de la lampe ;

10° D'un entonnoir de verre ;

11° D'un tube agitateur ;

12° D'un thermomètre pour déterminer la température de l'eau.

On peut y ajouter un flacon renfermant une solution d'azotate d'argent titrée à 20° pour 1 centimètre cube.

---

(1) Il est très-important de ne jamais procéder à des essais hydrotimétriques sans avoir constaté le titre exact de la liqueur d'épreuve au moyen d'une dissolution normale de chlorure de calcium ou d'azotate de baryte. Voyez pages 25 et 26.

DÉTERMINATION DU DEGRÉ HYDROTIMÉTRIQUE DES EAUX.

ESSAIS PRÉLIMINAIRES.

Lorsqu'on veut essayer une eau quelconque, on doit avant tout commencer par en prendre une petite quantité (20 à 25 grammes par exemple) dans un verre à expérience, et y verser un centimètre cube de la liqueur hydrotimétrique savonneuse. Si après quelques instants d'agitation au moyen d'un tube, l'eau prend une teinte opaline sans donner lieu à des grumeaux, on peut faire l'essai, ainsi que nous allons l'indiquer tout à l'heure, sans avoir recours à l'addition d'eau distillée.

Si, au contraire, l'eau soumise à cette expérience préliminaire donne naissance à des flocons ou grumeaux, on doit en conclure que cette eau est trop chargée de sels de chaux et de magnésie pour qu'on puisse l'essayer telle qu'elle est, et qu'il est nécessaire de la mélanger avec de l'eau distillée de manière à la ramener à un degré hydrotimétrique inférieur à 30 degrés. On y ajoute donc 1, 2 ou un plus grand nombre de fois son volume d'eau distillée, suivant qu'elle est plus ou moins impure, et cette addition se fait facilement à l'aide du flacon d'essai qui est jaugé de 10 en 10 centimètres cubes jusqu'à 40, ou mieux encore au moyen d'une pipette exactement graduée. Lorsque le mélange a été fait en proportions convenables, on peut opérer avec assurance ; mais on doit avoir soin de compter le double, le triple ou le quadrupledu degré observé suivant que l'on a ajouté 1, 2 ou 3 volumes d'eau distillée.

Il arrive quelquefois que l'eau distillée n'est pas par-

faitement pure et exige plus d'une division de liqueur hydrotimétrique pour donner une mousse persistante ; aussi lorsqu'on doit la mélanger en proportion plus ou moins considérable avec l'eau que l'on veut essayer, il importe de la soumettre à une épreuve préalable et de tenir un compte exact du degré qu'elle porte. On conçoit en effet que si une eau distillée, au lieu de fournir une mousse persistante à 0° et de neutraliser seulement une division de liqueur hydrotimétrique, en neutralisait 2 ou 3, elle ferait attribuer à l'eau mise en expérience 1 ou 2 degrés qui ne lui appartiendraient réellement pas, et que cette erreur multipliée par le nombre de volumes de l'eau distillée employée nuirait singulièrement à l'exactitude des résultats. Cette observation est d'une très-grande importance. Il en est une autre d'un intérêt plus général encore qui se rapporte à la liqueur hydrotimétrique elle-même. Cette liqueur dont le titrage exact est la condition fondamentale des essais hydrotimétriques et la garantie de leurs résultats, peut, comme toutes les préparations analogues, éprouver quelques modifications avec le temps, ou offrir des variations dépendantes du soin apporté à sa préparation ; pour se mettre à l'abri de ces causes d'erreur, lorsqu'il s'agit d'expériences qui exigent une parfaite exactitude, il est nécessaire, avant d'entreprendre une série d'essais, de vérifier son titre au moyen d'une liqueur normale composée de $0^{gr.},25$ de chlorure de calcium fondu ou mieux de $0^{gr.},59$ d'azotate de baryte pour un litre d'eau distillée parfaitement pure, en se rappelant que cette liqueur normale doit marquer

22 degrés. Pendant le titrage d'une eau, la chaleur de la main qui tient la burette peut dilater la liqueur d'épreuve et modifier ainsi le résultat de l'essai. Pour éviter cet inconvénient il est utile, comme l'a conseillé M. Péligot, de tenir la burette avec une petite pince en bois.

ESSAI.

Pour faire l'essai d'une eau, on en mesure 40 centimètres cubes dans le flacon jaugé, et l'on y ajoute peu à peu la liqueur hydrotimétrique contenue dans la burette, en examinant de temps en temps si elle produit par l'agitation une mousse légère et persistante. Cette mousse doit former à la surface de l'eau une couche régulière de plus d'un demi-centimètre d'épaisseur, et se maintenir au moins dix minutes sans s'affaisser. Le degré qu'on lit sur l'hydrotimètre, quand on a obtenu cette mousse, est le degré hydrotimétrique de l'eau examinée. On ne doit constater ce degré qu'après avoir attendu le moment où la liqueur adhérente aux parois internes de la burette s'étant écoulée, il est devenu parfaitement fixe.

Ce degré indique :

1° Le nombre de décigrammes de savon que l'eau neutralise par litre;

2° La mesure de sa pureté ou la place qu'elle occupe dans l'échelle hydrotimétrique.

Soit 20° le degré observé, il en résulte que 1 litre de l'eau essayée neutralise 20 décigrammes ou 2 grammes de savon, et que cette eau porte pour numéro d'ordre 20° dans l'échelle hydrotimétrique.

Si l'on jette un coup d'œil sur le tableau ci-après, on peut se faire immédiatement une idée de la valeur de cette eau, en comparant son degré à celui des eaux qui y sont classées.

ÉCHELLE HYDROTIMÉTRIQUE DES EAUX DE SOURCES ET DE RIVIÈRES.

DÉSIGNATION DES EAUX.	ORIGINE ET DATE.		DEGRÉS hydrotimétriques.
Eau distillée.	. . . .		0°
— de neige.	Recueillie à Paris. . .	déc. 1854.	2°,5
— de pluie.	— à Paris.	déc. 1854.	3°,5
— de l'Allier.	— à Moulins. . . .	5 mars 1855.	3°,5
— de la Dordogne. . .	— à Libourne, près le pont du chemin de fer. . . .	26 mars 1855.	4°,5
— de la Loire.	— à Tours.	5 mars 1855.	5°,5
— *Idem*.	— à Nantes.	*Idem*.	5°,5
— du puits de Grenelle.	»	16 févr. 1855.	9°,0
— du puits artésien de Passy.	»	nov. 1861.	11°
— de la Soude.	»	25 déc. 1854.	13°,5
— de la Somme-Soude.	»	*Idem*.	13°,5
— de la Somme (départ. de la Marne)	»	*Idem*.	14°,0
— du Rhône.	»	17 avril 1855.	15°,0
— de la Saône.	— à.	*Idem*.	15°,0
— de l'Yonne.	— à 1,000 mètres en aval de l'embouchure de l'Armançon.	*Idem*.	15°
— de la Seine.	— au pont d'Ivry. .	15 déc. 1854.	15°
— *Idem*.	— *Idem*.	16 févr. 1855.	17°
— Vanne (diverses sources de la) (Aube). .	. . . .		18 à 20°
— de la Seine.	— à Chaillot. . . .	*Idem*.	23°
— de la Marne.	— à Charenton. . .	13 févr. 1855.	23°
— *Idem*.	— *Idem*.	23 févr. 1855.	23°
— de l'Oise.	— à Pontoise. . . .	5 avril 1855.	21°
— de la Dhuis.	— à la Source. . . .	sept. 1861.	24°
— de l'Escaut.	— à Valenciennes. .	5 avril 1855.	24°,5
— du canal de l'Ourcq.	»	23 févr. 1855.	30°
— d'Arcueil.	»	*Idem*.	28°,0
— des Prés St-Gervais.	»	*Idem*.	72°,0
— de Belleville.	»	*Idem*.	128°,0

D'après ce tableau, on peut évaluer en un instant la quantité de savon décomposé par chacune des eaux qui s'y trouvent indiquées, avant qu'il puisse produire la mousse ou l'effet utile sur le linge que l'on veut blanchir.

Ainsi, étant donnée une eau qui marque 20° à l'hydrotimètre, comme chaque degré représente 1 décigramme de savon neutralisé ou détruit, cette eau en décompose évidemment en pure perte 2 grammes par litre ou 2 kilogrammes par kilolitre ou mètre cube.

Faisant ce calcul pour diverses eaux connues, on aura les résultats suivants qui sont de nature à montrer toute l'importance des indications hydrotimétriques pour les grandes industries où l'eau est employée en proportions considérables, telles que les buanderies, les teintureries, les brasseries et toutes celles qui font usage des appareils à vapeur pour lesquels les incrustations calcaires présentent de si grands inconvénients et même de si grands dangers.

EAUX.	DEGRÉS HYDROTIMÉTRIQUES.	SAVON DÉCOMPOSÉ avant de produire la mousse. (Pour 1 mètre cube.)
Eau de pluie.	3°,5	350 gram.
— de la Garonne.	5°	500
— de la Loire.	5°,5	550
— du puits de Grenelle. . .	9°	900
— du Rhône.	15°	1k,500
— de la Seine (Pont d'Ivry).	17°	1k,700
— de la Seine (Chaillot). . .	23°	2k,300
— de la Marne.	23°	2k,300
— de la Dhuis.	24°	2k,400
— de l'Ourcq.	30°	3k,000
— des Prés Saint-Gervais. .	72°	7k.200
— de Belleville.	128°	12k,800

Faut-il s'étonner si la mauvaise qualité des deux dernières de ces eaux qui arrivaient autrefois rue Saint-Martin a fait donner à l'une des fontaines de cette rue le nom de fontaine *Maubuée* (mauvaise lessive)?

Ces données suffisent dans un grand nombre de cas pour reconnaître si une eau est plus ou moins pure, plus ou moins applicable à certains usages ; mais il est beaucoup de circonstances où il est utile de connaître les proportions de carbonate de chaux, de sulfate de chaux ou autres sels calcaires, de sels de magnésie, de chlorures et d'acide carbonique contenues dans l'eau que l'on examine ; voici comment on y parvient.

DÉTERMINATION DE L'ACIDE CARBONIQUE ET DES SELS DE CHAUX ET DE MAGNÉSIE CONTENUS DANS LES EAUX DE SOURCES ET DE RIVIÈRES.

Cette détermination n'exige que quatre opérations successives et ne demande pas plus de 400 à 500 grammes d'eau.

La première opération consiste à prendre le degré hydrotimétrique de l'eau à l'état naturel ;

La seconde, à en prendre le degré après en avoir précipité la chaux au moyen de l'oxalate d'ammoniaque ;

La troisième, à en prendre le degré après en avoir éliminé, par l'ébullition, l'acide carbonique et le carbonate de chaux ;

La quatrième, à en prendre le degré après avoir précipité par l'oxalate d'ammoniaque les sels de chaux qui n'en ont point été isolés par l'ébullition.

On procède de la manière suivante :

Après avoir constaté le degré hydrotimétrique de l'eau à l'état naturel, on en mesure, au moyen du flacon d'essai, une nouvelle quantité égale à 50 centimètres cubes, et on y ajoute 2 centimètres cubes de dissolution d'oxalate d'ammoniaque au soixantième. On agite fortement le liquide en le battant au moyen d'un tube, et on l'abandonne pendant une demi-heure; on filtre alors la liqueur, qui ne contient plus de sels de chaux; on en mesure 40 centimètres cubes, et on en prend le degré.

D'autre part, on remplit le ballon jusqu'au trait circulaire, de l'eau que l'on veut analyser, et on la fait bouillir doucement pendant une demi-heure au moyen de la lampe à esprit-de-vin, pour en dégager l'acide carbonique et en précipiter le carbonate de chaux; on laisse refroidir complétement ; on rétablit le volume primitif de l'eau bouillie, en y ajoutant de l'eau distillée jusqu'au niveau du trait circulaire ; puis, après avoir fermé le ballon au moyen d'un bouchon, on agite l'eau avec le dépôt qui s'est formé ; enfin, on filtre et on prend le degré de 40 centimètres cubes de cette eau filtrée.

En dernier lieu, on prend 50 centimètres cubes de cette même eau bouillie et filtrée, et on y ajoute 2 centimètres cubes d'oxalate d'ammoniaque, qui élimine la chaux que l'ébullition n'a pas précipitée à l'état de carbonate. On agite avec le tube, on laisse reposer, on filtre et on prend le degré de 40 centimètres cubes de la liqueur filtrée.

Supposons que l'on ait trouvé :

1°	Le degré hydrotimétrique de l'eau à l'état naturel.	= 25
2°	Le degré de l'eau précipitée par l'oxalate d'ammoniaque.	= 11°
3°	Le degré de l'eau bouillie et filtrée.	= 15°
5°	Le degré de l'eau bouillie filtrée et précipitée par l'oxalate d'ammoniaque.	= 8°

On fait subir d'abord une correction au troisième résultat pour tenir compte du carbonate de chaux, qui, en raison de sa solubilité dans l'eau, n'a pas été précipité par l'ébullition (1). Cette correction consiste à retrancher 3° du chiffre observé, c'est-à-dire, dans l'exemple actuel, 3° de 15°, ce qui donne 12°.

Cette correction faite, voici comment on doit interpréter les quatre données différentes fournies par l'expérience :

1° La première, 25°, représente la somme des actions

(1) Le carbonate de chaux étant un peu soluble dans l'eau, celle-ci en retient à la température ordinaire une proportion qui ne peut pas être négligée. M. Péligot, dont l'habileté et l'exactitude sont bien connues, l'a évaluée à 0gr.,02 par litre en employant le marbre en poudre ou le carbonate de chaux artificiel. En essayant avec l'hydrotimètre une dissolution de bicarbonate de chaux que nous avions décomposée par une longue ébullition et filtrée, nous avons reconnu qu'elle marquait sensiblement 3° qui représentent 0,03 de carbonate de chaux par litre. On peut admettre que dans les conditions d'expérience où nous avons dû nous placer, l'eau retienne une proportion de carbonate de chaux supérieure à celle qu'elle peut dissoudre lorsqu'elle doit vaincre la cohésion du marbre pulvérisé ; nous avons donc admis que les eaux chargées de bicarbonate calcaire retenaient 0gr.,03 de carbonate par litre après l'ébullition prolongée, et nous avons fixé, d'après ce chiffre, la correction dont il s'agit.

exercées sur le savon par l'*acide carbonique*, le *carbonate de chaux*, les *sels de chaux divers* et les *sels de magnésie* contenus dans l'eau essayée.

2° La deuxième, 11°, représente les sels de magnésie et l'acide carbonique qui restaient dans l'eau après l'élimination de la chaux ; par conséquent 25°—11°=14° *représentent les sels de chaux.*

3° La troisième, 15°, réduits à 12° après correction, représente les sels de magnésie et les sels de chaux autres que le carbonate.

25°—12°=13° représentent par conséquent le *carbonate de chaux* et l'*acide carbonique.*

4° La quatrième, 8°, représente les *sels de magnésie* contenus dans l'eau, et qui n'ont pu être précipités ni par l'ébullition ni par l'oxalate d'ammoniaque.

Les sels de chaux et de magnésie étant représentés, les premiers par 14°, les seconds par 8°, et ensemble par 22°, il est évident que sur les 25° de l'eau à l'état naturel, il en reste 3° pour l'*acide carbonique.*

En résumé, on peut conclure des observations précédentes :

1° Que l'acide carbonique, les sels de chaux et de magnésie contenus dans un litre de l'eau examinée, équivalent à . . . . 25°

Que, par conséquent, un litre de cette eau neutralise 25 décigrammes ou 2gr.,50 de savon.

2° Que les sels de chaux équivalent à. . . . . 14°

3° Que les sels de magnésie équivalent à. . . . . 8°

4° Que l'acide carbonique équivaut à. . . . . 3°

5° Que l'acide carbonique équivalant à 3°, le carbonate

de chaux et l'acide carbonique réunis équivalant à 13°, le carbonate de chaux équivaut à 13° — 3° = ... 10°

6° Que les sels de chaux en totalité équivalent à 14°, et le carbonate de chaux équivalant à 10°, le sulfate de chaux ou les sels de chaux autres que le carbonate équivalent à 14° — 10° = ... 4°

On voit ainsi que l'eau examinée contient :

1° Acide carbonique.	3°
2° Carbonate de chaux.	10°
3° Sulfate de chaux ou sels de chaux autres que le carbonate.	4°
4° Sels de magnésie.	8°
	25°

Au moyen du petit tableau ci-après, qui indique l'équivalent d'un degré hydrotimétrique pour 1 litre d'eau, d'un certain nombre de corps, il est facile de traduire ces degrés en poids pour les sels, et en volume pour l'acide carbonique. Il suffit, pour cela, de multiplier le chiffre des degrés observés pour chaque corps en particulier, par le nombre correspondant à 1° hydrotimétrique de ce corps.

TABLEAU D'ÉQUIVALENTS EN POIDS D'UN DEGRÉ HYDROTIMÉTRIQUE POUR 1 LITRE D'EAU.

			gr.
Chaux.	1°	=	0,0057
Chlorure de calcium.	1°	=	0,0114
Carbonate de chaux.	1°	=	0,0103
Sulfate de chaux.	1°	=	0,0140
Magnésie.	1°	—	0,0042
Chlorure de magnésium.	1°	—	0,0090
Carbonate de magnésie.	1°	—	0,0088
Sulfate de magnésie.	1°	—	0,0125
Chlorure de sodium.	1°	—	0,0120
Sulfate de soude.	1°	—	0,0146
Acide sulfurique.	1°	—	0,0082
Chlore.	1°	—	0,0073
Savon à 30 pour 100 d'eau.	1°	—	0,1061
			lit.
Acide carbonique.	1°	—	0,005

Dans le cas particulier que nous avons choisi, en supposant que la chaux se trouve dans l'eau à l'état de carbonate et de sulfate, et la magnésie à l'état de sulfate, on voit que l'eau analysée devait contenir :

Acide carbonique libre.	$3° = 3 \times 0{,}005$	$= 0{,}015$
Carbonate de chaux.	$10° = 10 \times 0{,}0103$	$= 0{,}103$
Sulfate de chaux.	$4° = 4 \times 0{,}0140$	$= 0{,}056$
Sulfate de magnésie.	$8° = 8 \times 0{,}0125$	$= 0{,}100$
		0,274

Il est à remarquer que la proportion d'acide carbonique libre contenu dans les aux douces étant très-faible, que 1° de carbonate de chaux équivalant à 0gr.,01 de ce sel, et que les nombres proportionnels de ce sel et des sulfates de chaux et de magnésie n'étant pas très-différents les uns des autres, le degré hydroti-

métrique d'une eau représente à peu près, en général, le poids en centigrammes des sels terreux contenus dans un litre de cette eau, de sorte que si, par exemple, le degré hydrotimétrique d'une eau est 25°, on peut présumer *à priori* que le poids des sels terreux qu'elle contient ne doit pas s'éloigner beaucoup de 0,23 à 0,25. Cette précieuse coïncidence a été constatée dans un très-grand nombre d'analyses. Dans l'expérience ci-dessus, en déduisant du total 0,274 le poids de l'acide carbonique 0,015, on obtient 0,24,9 pour le poids des sels terreux contenus dans une eau à 25°.

Si l'on veut constater les proportions de sulfates ou de chlorures, on y parvient facilement en suivant la méthode que nous avons décrite pages 40 et 41.

RÉSUMÉ.

Ainsi, en résumé, la méthode hydrotimétrique donne le moyen de doser, dans les eaux de sources et de rivières, non-seulement la chaux et la magnésie qu'elles contiennent, mais encore le carbonate de chaux qui s'en précipite sous l'influence d'une ébullition prolongée, l'acide sulfurique et le chlore qui s'y trouvent à l'état de combinaison avec les bases, et même l'acide carbonique libre.

Que si l'on cherche à se rendre compte des avantages que cette méthode peut offrir pour l'étude des eaux, on verra qu'ils sont considérables et qu'ils intéressent tout à la fois l'hydrologie générale, l'hygiène, l'agriculture et les arts industriels.

Et d'abord, étant fondée sur l'emploi d'un réactif unique qui sert de commune mesure dans toutes les observations, et s'applique aux eaux elles-mêmes dans toute leur intégrité, ne fournit-elle pas, pour leur comparaison, des éléments infiniment plus certains que toute autre méthode qui implique l'évaporation préalable, l'emploi de manipulations plus ou moins variées, de réactifs plus ou moins nombreux, et les chances d'erreur qui sont la conséquence inévitable d'opérations aussi compliquées?

Ces comparaisons, d'ailleurs, en raison de la rapidité avec laquelle on peut exécuter les expériences hydrotimétriques, ne peuvent-elles pas être multipliées à l'in-

fini en quelque sorte, et permettre de suivre avec précision, dans toutes leurs phases, les variations qui résultent nécessairement, dans la composition des eaux, des pluies plus ou moins abondantes, des fontes de neige, de la prédominance de tels ou tels affluents dans les fleuves et les rivières, ou de tout autre phénomène accidentel?

Par les mêmes motifs, l'étude des eaux minérales elle-même trouvera, nous n'en doutons pas, de précieuses ressources dans la méthode hydrotimétrique. S'il est prouvé, en effet, que ces eaux ont une composition variable, et même quelquefois intermittente pour certains éléments, n'est-il pas évident que l'hydrotimétrie, appliquant à tous les faits qu'elle peut apprécier une mesure commune, fournira pour les bases terreuses et métalliques, et pour certains acides contenus dans les eaux minérales, des données plus comparables qu'aucun autre système d'analyse, et permettra de suivre pas à pas, par des expériences rapides et multipliées, les moindres variations dans les proportions de ces éléments?

Mais vient-on à envisager les applications de l'hydrotimétrie à l'examen des eaux de sources et de rivières, en vue de leurs usages dans l'économie domestique, dans l'agriculture et dans l'industrie, les investigations auxquelles elle se prête se présentent avec un caractère de généralité et d'importance pratique plus remarquable encore.

Si c'est avec raison, en effet, qu'à Paris, à Londres, à Glasgow, à Bruxelles, et dans les plus grandes villes

de l'Europe et de l'Amérique, les administrations municipales se préoccupent du choix des eaux comme d'une des mesures les plus essentielles au bien-être et à la santé des populations, n'y a-t-il pas un grand intérêt aussi à ce que dans les villes d'un ordre inférieur et dans les moindres villages, les habitants soient éclairés sur la valeur relative des eaux qui sont à leur portée et puissent en faire un choix judicieux? Aujourd'hui surtout que le drainage permet, en quelque sorte, de faire jaillir à volonté des eaux vives et abondantes dans les localités qui en sont les plus dépourvues, et de les substituer à ces mares croupissantes qui sont souvent, dans les campagnes, la seule ressource de populations nombreuses, comment en reconnaître la valeur relative, comment les comparer et les utiliser avec discernement, si l'on n'a pas la plus légère idée de leur composition chimique et de leurs propriétés? Et cependant, s'il fallait attendre de l'analyse ordinaire et d'un chimiste exercé, les renseignements nécessaires pour une semblable appréciation, quel serait le nombre des cantons et même des arrondissements de France qui seraient assez heureux pour les obtenir?

Si nous ne nous faisons pas illusion, l'hydrotimétrie doit répondre au besoin que nous signalons, et fournir ces renseignements avec une facilité si grande, qu'il n'est pas une commune qui ne puisse prétendre à les connaître. Mais ce n'est pas seulement au point de vue de l'hygiène publique et de l'emploi des eaux comme boisson et partie importante de nos aliments que l'estimation rapide de leur valeur offre un grand intérêt;

combien de questions l'agriculture et l'industrie n'ont-elles pas à résoudre par la connaissance de leur composition! Qui met en doute l'influence favorable ou contraire des eaux plus ou moins séléniteuses, plus ou moins chargées de carbonate calcaire sur les résultats de l'irrigation? Ne sait-on pas le rôle que joue le carbonate et le sulfate de chaux dans les procédés de certaines industries? Est-il besoin de parler des incrustations des conduites traversées par des eaux riches en bicarbonate calcaire, des dépôts si préjudiciables que ce même composé, uni souvent au sulfate de chaux, produit dans les chaudières à vapeur, et qui sont la cause de dangers si graves ou de frais si considérables pour la plupart des usines et des entreprises de chemins de fer? Faut-il enfin calculer l'énorme quantité de sel de soude et de savon que les eaux calcaires détruisent en pure perte pour l'industrie des blanchisseurs?

Il suffit de réfléchir un moment aux circonstances dans lesquelles les matières dissoutes par les eaux douces peuvent exercer une action souvent nuisible, quelquefois utile, pour se faire une idée des applications auxquelles l'hydrotimétrie nous semble être appelée.

La pisciculture elle-même, cet art merveilleusement développé par les beaux travaux de MM. Coste, Milne-Edwards et de Quatrefages, et les curieuses observations de M. Millet, n'a-t-elle pas à s'enquérir de la composition des eaux, et ne devient-il pas évident qu'elle doit en tirer de précieuses indications, lorsque l'on sait, d'après les études de M. Millet, que les germes d'organisation des œufs de saumon et d'alose

sont promptement et complétement détruits par le chlorure de sodium, et que c'est pour déposer leur frai dans des eaux qui soient exemptes de ce sel, que ces poissons quittent leurs cantonnements et remontent souvent à de grandes distances dans l'intérieur des fleuves et des rivières?

Raisonnant dans un autre ordre d'idées, on reconnaîtra sans doute avec nous que l'hydrotimétrie sera d'un grand secours pour le choix des eaux, soit aux navigateurs dans les lieux de relâche, soit aux officiers du génie et aux officiers de santé des armées en campagne, soit enfin aux ingénieurs dans les recherches sur l'origine souterraine des sources et des cours d'eau, et sur la nature des terrains qu'ils traversent et des affluents qu'ils peuvent recevoir.

La facilité avec laquelle des personnes, même tout à fait étrangères aux opérations délicates de la chimie, pourront se livrer à des études hydrologiques, les multipliera certainement dans une progression très-rapide : chaque manufacturier, chaque propriétaire voudra connaître la nature de ses eaux et leur valeur relative pour les différents usages auxquels il devra les employer, et il est impossible que des observations aussi nombreuses ne jettent pas quelques lumières sur les questions d'hygiène publique, d'agriculture et d'industrie qui se rattachent à la nature des eaux.

Le drainage, qui crée des sources nouvelles, l'hydrotimétrie, qui donne le moyen d'en mesurer la valeur, nous semblent devoir être les instruments d'un progrès considérable dans le régime et l'exploitation des eaux

douces, et nous nous estimerons heureux si le temps et l'expérience confirment nos prévisions à cet égard. Mais quel que soit le degré d'importance que l'avenir assigne aux résultats de nos travaux, nous ne devons pas en terminer l'exposition sans exprimer publiquement notre reconnaissance à MM. les ingénieurs Belgrand et Mille, dont le concours bienveillant et éclairé nous a été fort utile dans nos recherches.

Tout le monde connaît le remarquable rapport adressé au préfet de la Seine par M. Mille sur l'assainissement des villes et la distribution des eaux en Angleterre (1).

Les belles études de M. Belgrand sur les sources du bassin de la Seine et sur la dérivation de la Somme-Soude (2), ont jeté une vive lumière sur la question des eaux de la ville de Paris. On concevra sans peine combien nous avons été heureux de pouvoir invoquer la haute expérience et les précieux avis de ces savants ingénieurs.

---

(1) Rapport sur le mode d'assainissement des villes en Angleterre et en Écosse, présenté à M. le préfet de la Seine, par M. Mille, ingénieur des ponts et chaussées.

(2) Recherches statistiques sur les sources du bassin de la Seine qu'il est possible de conduire à Paris, exécutées en 1854, d'après les ordres de M. le préfet de la Seine, par M. Belgrand, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

APPLICATION DE LA MÉTHODE HYDROTIMÉTRIQUE A L'ANALYSE DES DISSOLUTIONS DE SELS TERREUX.

Les indications de l'hydrotimètrie étant fondées sur la neutralisation du savon par les bases qui peuvent former, avec les acides gras, des composés insolubles, il est évident que la plupart des sels métalliques ou terreux se prêtent à un dosage hydrotimétrique.

Étant donnée, par exemple, une dissolution d'un sel soluble de baryte, parfaitement neutre et convenablement étendu d'eau, on peut prendre son degré hydrotimétrique, et, par un calcul d'équivalents, connaître sa composition avec autant de facilité et de précision que s'il s'agissait d'une dissolution calcaire ou magnésienne.

Ce serait déjà un précieux avantage, sans doute, dans certaines circonstances, de pouvoir déterminer en quelques minutes la composition d'une dissolution saline simple; mais les applications des procédés hydrotimétriques à ce genre de problèmes seraient plus fréquentes s'ils pouvaient servir à déterminer dans une dissolution complexe les proportions des bases diverses qui s'y trouvent associées. Nous avons été assez heureux pour résoudre cette nouvelle question.

S'agit-il d'une dissolution de baryte, de chaux et de magnésie marquant 25°, on précipite d'abord la baryte

par le sulfate de soude, et on constate la réduction correspondante dans le degré de la dissolution ; cette réduction représente la baryte ; puis opérant sur une nouvelle proportion de dissolution dont on a d'avance séparé la baryte, on en précipite la chaux par l'oxalate d'ammoniaque ; on connaît ainsi, par ce système d'élimination successive, la baryte et la chaux ; quant à la proportion de magnésie, elle est représentée par le degré de la liqueur dont on a dégagé la baryte et la chaux.

On conçoit facilement que d'autres problèmes analogues pourraient être résolus avec facilité par cette méthode, et qu'une table d'équivalents de chaque base terreuse, en degrés hydrotimétriques, permettrait de calculer en un instant les résultats de chaque analyse.

Pour ajouter sans tâtonnement un excès de réactifs précipitants, il est commode de préparer d'avance des dissolutions titrées de ces réactifs, dans des proportions telles que 1 centimètre cube représente 20 degrés hydrotimétriques ; il suffit alors d'ajouter à 40 centimètres cubes de la liqueur que l'on veut analyser 1 centimètre cube ou une fraction décimale de centimètre cube de ces dissolutions, pour avoir la certitude de précipiter 20 degrés ou une fraction correspondante de 20 degrés de la base ou de l'acide que l'on veut éliminer.

Sachant par exemple que 2gr.,14 d'azotate de baryte dissous dans 100 grammes d'eau distillée donnent une dissolution qui représente 20 degrés hydrotimétriques pour un centimètre cube, il est facile de calculer la pro-

portion de sulfate de soude ou de tout autre sel que l'on doit ajouter à 100 grammes d'eau pour obtenir une dissolution équivalente ; il n'y a qu'à multiplier le nombre 2gr.,14 par l'équivalent de ce sel et à diviser le produit par l'équivalent de l'azotate de baryte.

ÉTUDE HYDROTIMÉTRIQUE

DES

EAUX DU BASSIN DE LA SEINE.

(EXTRAIT DES RECHERCHES DE M. BELGRAND.)

M. Belgrand, ingénieur en chef des ponts et chaussées, chargé du service hydrométrique de la ville de Paris, a bien voulu mettre à notre disposition un résumé des essais les plus intéressants qu'il a exécutés dans le cours de ses persévérantes recherches pour découvrir des sources propres à l'alimentation de Paris; nous sommes heureux de pouvoir publier ici ces précieux documents. C'est assurément le témoignage le plus considérable que nous puissions produire en faveur de la méthode hydrotimétrique et des ressources qu'elle offre pour apprécier rapidement la qualité des eaux, pour les comparer entre elles, et se rendre compte des moindres variations qu'elles présentent dans leur composition. M. Belgrand n'aurait certes pas entrepris un travail aussi étendu, s'il n'avait eu à sa disposition des moyens aussi rapides, aussi faciles et aussi sûrs que les procédés hydrotimétriques; encore moins aurait-il pu, sans leur secours, accomplir avec succès cette enquête si remarquable et si utile.

Dans le cours de ses recherches, M. Belgrand a soumis au titrage hydrotimétrique les eaux de près de quatre

cents sources, et les a classées d'après la nature géologique des terrains d'où elles sortent et d'après leur ordre de dureté, exactement représenté par leurs degrés hydrotimétriques. Il les a partagées en quatre groupes principaux.

Le premier groupe comprend les

Sources du Morvan marquant de. . . . . 1 à 7°
— du *Green Sand* et de la craie inférieure, de 7 à 12°
— des sables de Fontainebleau, de. . . . . 6 à 22°

Le second groupe :

Sources de la craie blanche, de. . . . . 12 à 17°,80
— des arkoses de l'infralias (terrain jurassique), de. . . . . 11 à 19°,50
— de la craie marneuse, de. . . . . 14,50 à 22°
— du calcaire à entroques (terrain jurassique), de. . . . . 16,90 à 21°,50
— du calcaire de Beauce, de. . . . . 17 à 25°
— de la craie blanche recouverte de terrain tertiaire, de. . . . . 17 à 27°,50
— des calcaires oolitiques durs (terrain jurassique), de. . . . . 17,50 à 26°

Le troisième groupe :

Sources des marnes vertes, terrain non gypsifère, de. . . . . 19,50 à 30°
— de l'argile plastique, de. . . . . 20 à 35°
— des terrains oolitiques marneux, de. . . . 21 à 34°
— des terrains tertiaires entre les marnes vertes et l'argile plastique, de. . . . . . 21,50 à 46°

Le quatrième groupe :

Sources du lias (terrain jurassique), de. . . . . . 27,50 à 120°
— des marnes vertes, partie gypsifère, de. 23 à 155°

Les eaux du premier groupe sont chimiquement les plus pures et les plus douces. Elles sont excellentes pour adoucir par leur mélange des eaux qui ont une trop grande dureté. Il est à remarquer toutefois que si, sans les avoir mélangées avec d'autres eaux, on les distribue par des conduites en fonte, elles présentent le grave inconvénient de déterminer dans ces conduites la formation de tubercules ferrugineux qui les obstruent assez promptement.

Les eaux du second groupe sont toutes très-bonnes, on peut les prendre, pour ainsi dire, au hasard ; ce sont les plus belles et les plus agréables à boire. Il arrive quelquefois cependant qu'elles sortent des terrains tourbeux, elles perdent alors beaucoup de leur qualité.

On trouve encore de bonnes eaux dans le troisième groupe, mais il faut que les terrains où elles sourdent ne contiennent pas de gypse; c'est alors qu'il faut savoir faire un choix.

Les eaux du quatrième groupe, celles qui sortent du lias et des marnes vertes recouvrant le gypse, sont toutes de mauvaise qualité, et ne peuvent être employées en boisson.

A la suite de ces données générales, M. Belgrand fait connaître les degrés hydrotimétriques des nombreuses sources du bassin de la Seine qu'il a examinées, et notamment de celles que possède la ville de Paris. Il donne des renseignements curieux sur les dérivations de la Dhuis, de la Vanne, de la Somme-Soude; sur les variations hydrotimétriques qu'éprouve le puits artésien de Grenelle après des années de sécheresse et d'humidité.

Enfin il indique les degrés hydrotimétriques de l'Yonne, de la Marne, de l'Oise et plus particulièrement de la Seine, à divers points de leurs parcours, et depuis leur source jusqu'à Paris.

Nous ne doutons pas que nos lecteurs, après avoir pris connaissance de l'intéressant travail de M. Belgrand, ne lui sachent, comme nous-mêmes, un gré infini de la publicité qu'il a bien voulu donner, par notre entremise, aux résultats de ses belles études.

SOURCES LES PLUS REMARQUABLES DU BASSIN DE LA SEINE.

La Douix (1), commune de Saint-Germain-la-Feuille (Côte-d'Or), prend naissance dans la grande oolite.

Examinée au moment où elle sort du monument romain restauré aujourd'hui par la ville de Paris, elle a donné.	21°,65
La Douix, à Châtillon-sur-Seine (Côte-d'Or).	23°,50

En amont de cette énorme source, la Seine tarit dans les années de sécheresse.

La fontaine de Brion, commune de Brion (Côte-d'Or). . .	21°,50

tarit aussi en amont de l'Ource, dans les années sèches.

La fontaine de Bué, commune de Chaumont (Haute-Marne).	19°,80

---

(1) *Dhuis*, *Douix*, *Douy*, *Duée*, sont les noms d'un grand nombre les sources du bassin de la Seine. Ce nom vient sans aucun doute du nom latin *ductus*, aqueduc, conduite. En Bourgogne, on donne encore le nom de *duite* à certains tuyaux.

Il y a aussi quelques sources formant tête de cours d'eau.

La Douy, source de la rivière de Darcy, commune de Bligny-le-Sec (Côte-d'Or), prenant naissance dans le calcaire à entroques recouvert de terre à foulon.		25°,38
Première source de l'Orc, commune de Blaisy (Côte-d'Or), même formation.		23°,05
Première source de l'Orcrain, commune de Saint-Mesmier (Côte-d'Or), calcaire à entroques.		22°,75
Première source de la Juine, calcaire de Beauce, à l'amont du château de la Porte, commune d'Autruy.		19°,50
Sources du Durtein, en amont de Provins (Seine-et-Marne), calcaire de Brie.	source du moulin des Fontaines.	24°
	— même localité, rive droite.	24°
	— même localité, rive gauche.	24°
	— à l'aval du même moulin. .	24°
Première source de la Vouizie, autre rivière de Provins. .		24°

Ces sources sont considérables.

DÉRIVATION DE LA DHUIS.

La Dhuis, aujourd'hui dérivée à Paris, prend sa source à Pargny, près Condé, arrondissement de Château-Thierry (Aisne). D'après plusieurs essais faits sur place, M. Belgrand attribue 23° à la Dhuis, bien qu'un autre essai, fait en juillet 1861, n'ait donné que 22°,18.

Suivant lui la Dhuis perd, dans les 131 kilomètres qu'elle parcourt pour arriver à Paris, une partie du carbonate de chaux qu'elle tenait en dissolution à la faveur d'un excès d'acide carbonique. La moyenne de dix-huit essais faits à l'arrivée au réservoir de Ménilmontant le lundi de chaque semaine, depuis le 20 janvier 1866, a donné 20°,50.

La ville de Paris possède encore dans la vallée du Surmelin (département de la Marne) des sources qui doivent être un jour dérivées par le même aqueduc; ce sont celles des Mardelles, commune de Lacaure.

Première source.	23°,30
Deuxième source.	19°,80
Troisième source (très-petite).	18°,27

Les sources de la propriété de Sanville, achetées aussi par la ville de Paris, et qui font partie des communes de Suizy-le-Franc et d'Orbais-l'Abbaye, donnent les degrés suivants :

Source du bois de Fraivent.	21°,24
Première source du bois des Aulnois.	23°,50
Source de la prairie des Aulnois.	23°,93
Deuxième source du bois des Aulnois.	25°,66

Vallée du Verdon (affluent de la Dhuis).

Sources dite de la Verdonnette, commune de Verdon.

Source n° 10, vendue par M. Marlio.	23°,69
— n° 17..	26°,32
— n° 22.	21°,60
— n° 23.	24°,72

Toutes les sources de la vallée de la Dhuis, du Surmelin et du Verdon sortent des terrains tertiaires compris entre les marnes vertes inclusivement et les sables moyens exclusivement. Le gypse manque, ce qui explique l'absence complète du sulfate de chaux dans les eaux essayées.

Sources des plateaux de la Brie, avoisinant l'aqueduc de la Dhuis.

Ces sources sortent des sables de Fontainebleau. La ville de Paris n'en possède qu'une seule, mais elle a intérêt à en acheter d'autres pour abaisser le degré hydrotimétrique de l'ensemble de la dérivation de la Dhuis.

Source de la fontaine aux Dames, commune d'Hondevilliers (Seine-et-Marne). . . . . . . 9°,68

DÉRIVATION DE LA VANNE.

Sources de la vallée de la Vanne.

Source d'Armentières, commune de Courmononcle (Aube). 17°,96
— de Chigy, commune de Chigy (Yonne). . . . . 20°
— de Saint-Philibert, commune de Pont-sur-Yonne. . 19°,48
— de Theil, commune de Theil. . . . . 17°,33
— de Noé, commune de Noé. . . . . 18°,30

Sources de la vallée de Cérilly (affluent de la Vanne).

Sources de l'abîme de Cérilly, commune de Cérilly (Yonne). (Essais faits par M. Humblot.). . . . . , ... 18°

Les sources des vallées de la Vanne et de Cérilly sortent de la craie blanche couronnée par des limons rouges mêlés de cailloux d'origine tertiaire.

DÉRIVATION DE LA SOMME-SOUDE.

Bien que la dérivation de la Somme-Soude ait été abandonnée et que la ville de Paris ait renoncé à acquérir les sources, nous croyons cependant devoir reproduire ici le travail auquel M. Belgrand s'était livré pour connaître la valeur des eaux qu'il avait le projet d'amener à Paris.

SOURCES DE LA CRAIE BLANCHE (département de la Marne).

Vallée de la Somme, affluent de la Somme-Soude.

Fontaine Rouge, première source perenne de la Somme.	14°
Le Popelet.	14°
Le Mont.	12°
Source près de Conflans.	13°

Vallée de la Soude, affluent de la Somme-Soude.

Source de Soudé-Notre-Dame.	12°,80
Autre source de Soudé-Notre-Dame.	14°
Source de Bussy-Lettré.	13°,50 (1)

Vallée de la Berle, affluent de la Somme-Soude.

(Craie blanche couronnée par les terrains tertiaires.)

Sources des Vertus, commune de Vertus (Marne).	source Mère de Roi.	22°.40
	source de l'Église. .	23°

(1) Les degrés observés par MM. Boutron et Boudet le 25 décembre 1864, et indiqués dans l'échelle hydrotimétrique, s'accordent exactement avec ceux de M. Belgrand.

Vallée du Cubry.

(Niveau d'eau des marnes vertes, partie non gypsifère.)

Le Sourdon, commune de Saint-Martin-d'Ablois (Marne). 21°

Autre source qui aurait pu être dérivée par l'aqueduc de la Somme-Soude.

Source de la fontaine Coole, vallée de Coole (craie blanche) (département de la Marne). . . . . 13°,30

PUITS ARTÉSIEN DE GRENELLE.

Trois cent dix-huit essais ont été faits de cette eau par M. Belgrand, le lundi de chaque semaine, du 10 mars 1857 au 5 mai 1863. Ils ont donné lieu aux observations suivantes :

Les eaux du puits de Grenelle sont soumises à des variations hydrotimétriques très-remarquables; elles subissent toujours un minimum en mars et en avril, lorsque les infiltrations des pluies d'hiver arrivent à Paris. Quand les cours d'eau du *Green Sand* éprouvent des crues, deux mois environ après il y a un minimum hydrotimétrique à Paris. Dans les années très-sèches, le degré s'élève considérablement; tous les ans il y a un maximum prononcé en automne. Dans les années humides, comme celle de 1860, le degré ne s'élève presque pas en été, et le maximum d'automne est

peu sensible. Voici les résultats qui ont été obtenus :

1857. Année de grande sécheresse.	Minimum (mars et avril).	9°,18
	Maximum (24 novemb.).	10°,11
1858. Année extraordinairement sèche.	Minimum (mars et avril).	9°,87
	Maximum (2 novembre).	12°,15
1859. Année moins sèche. . .	Minimum (avril).	10°,23
	Autre minimum, crue des rivières (19 juillet).	9°,89
	Maximum, suite de la sécheresse de 1858 (11 janvier).	11°,70
	Maximum normal (11 octobre).	10°,86
1860. Année très-humide. . .	Il n'y a ni maximum ni minimum prononcé; le degré hydrotimétrique oscille entre 9°,31 et	10°,26
1861. Année très-sèche, mais se sentant de l'humidité de 1860.	Minimum (9 avril). . . .	9°,20
	Maximum (5 novembre).	10°,53
1862. Année médiocrement sèche, mais sous l'influence de la sécheresse de 1861.	Minimum (22 avril). . .	9°,49
	Maximum (14 octobre).	11°,56 (1)

PUITS ARTÉSIEN DE PASSY.

Essai du 27 mai 1861. . . . . 10°,12

En janvier de la même année, MM. Boutron et Boudet avaient trouvé. . . . . 11°

(1) Le 16 février 1855, MM. Boutron et Boudet ont trouvé 9°.

INDICATION DU DEGRÉ HYDROTIMÉTRIQUE

Des principaux cours d'eau du bassin de la Seine, à la suite des grandes sécheresses de 1857 *et* 1858, *lorsqu'ils étaient alimentés uniquement par des sources.*

Seine, au pont de l'abbaye à Châtillon-sur-Seine (Côte-d'Or), le 27 août 1858 (1). . . . . 21°,52
— en amont de Troyes et du confluent de l'Horain, un peu à l'aval des terrains jurassiques (15 octobre 1857). . . . . 18°,60
— à Nogent, à la sortie des terrains crétacés et en amont du confluent de l'Yonne, 15 octobre 1857. 17°,50
— au-dessous du confluent de l'Yonne, au Port-à-l'Anglais, le 3 août 1358. . . . . 16°,78
— à Paris, à l'estacade des machines de Chaillot, 3 août 1858 (2). . . . . 17°,77

---

(1) La Seine était tarie en amont de Châtillon ; elle était alimentée au point indiqué, par la Douix et quelques autres sources semblables.

(2) Le titre hydrotimétrique de l'eau de la Seine étant sujet à des variations assez importantes, nous indiquons ici les degrés observés à différentes époques et à divers points du cours de ce fleuve :

La Seine, au pont d'Ivry, le 15 décembre 1854 (Boutron et Boudet). . . . . 15°
— — le 16 février 1855 (*id.*) . . . . . . 17°
— — le 26 mai 1861 (Boudet). . . . . . 17°
— à l'estacade de Chaillot, 25 mai 1861 (*id.*). . . . . 19°,50
— à la prise d'eau de Neuilly, 25 mai 1861 (*id.*). . . 20°,50
— à 3 kilomètres en aval du pont d'Asnières, en plein courant, 3 août 1860 (*id.*). . . . . 18°

D'autre part, il résulte d'observations faites par M. Robinet en 1865, que l'eau de la Seine prise à Ivry a donné pour la moyenne

Seine, à Conflans-Sainte-Honorine, en amont de l'Oise, le 22 juillet 1858. . . . . 19°,80
— en aval du pont de Poissy, au-dessous de l'Oise, 22 juillet 1858. . . . . 20°,25
— au pont du Manoir, en amont du confluent de l'Eure, 25 juillet 1858. . . . . 19°,17
— au pont de Brouilly, à l'entrée de Rouen, 23 juillet 1858. . . . . 19°,44
Yonne, à la sortie du Morvan, terrains granitiques, 24 juillet 1858.. . . . . 1°,80
— au pertuis du Manoir, après avoir reçu les grandes sources jurassiques, 22 juillet 1858. . . . . . . 15°,57
— à Sens, 29 juillet 1858. . . . . 15°,21

Les crues de l'Yonne ont une influence prépondérante sur celle de la Seine.

Comme les crues de l'Yonne descendent principalement du Morvan, leur degré hydrotimétrique est très-bas, de sorte que le degré de la Seine à Paris s'abaisse en temps de crue.

Marne, à Chaumont (Haute-Marne), 21 juillet 1858. . . . 17°,64
— à Saint-Dizier, à l'aval des terrains jurassiques, 31 juillet 1858. 16°,25
— à Épernay, à la sortie de la Champagne crayeuse, 22 juillet 1858.. . . . . 16°,92
— à Château-Thierry, origine des terrains gypsifères, 23 juillet 1858. . . . . 17°,28
— en amont du confluent de la Seine, 3 août 1858. 20°,43 (1)

---

de quatre essais 16°,88, et pour l'eau prise dans Paris, au quai de l'Horloge, 17°,97.

(1) Ce degré est exceptionnel, le titre de la Marne étant ordinairement de 23°. (Voir à l'échelle hydrotimétrique.)

Oise, à Hirson, à la sortie des terrains paléoroïques des Ardennes, 3 août 1858. . . . . 4°
— à l'aval de la Fère, à la sortie de la Champagne crayeuse, 13 août 1858. . . . . 14°,89
— à l'aval du pont de Pontoise, le 22 juillet 1858. . . 22°

EAU D'ARCUEIL AUX SOURCES DE RUNGIS.

Vingt-neuf essais de cette eau ont été faits du 17 juin 1861 au 1er mai 1862.

1861. Année très-sèche, mais sous l'influence de l'humidité de 1860.	Minimum (juin).	33°,45
	Maximum (14 octobre).	40°,10
1862. Année médiocrement sèche, mais sous l'influence de la sécheresse de 1861.	Minimum (22 janvier). .	36°,05
	Maximum (1er novembre).	42°,84 (1)

SOURCES DU NORD DE PARIS.

Ces sources, qui alimentaient autrefois plusieurs fontaines de Paris, sont tellement mauvaises qu'on ne les emploie plus qu'à certains services publics, tels que

---

(1) Le 23 février 1855, MM. Boutron et Boudet ont trouvé 28° pour l'eau d'Arcueil prise au château-d'eau de l'Observatoire. Cela démontre bien que l'eau perd quelques degrés hydrotimétriques pendant son parcours de Rungis à Paris. Les frottements et les arrêts que l'eau éprouve dans l'aqueduc donnent lieu à un dégagement d'acide carbonique, et, par suite, à un dépôt de carbonate de chaux, qui affaiblissent le degré de l'eau.

l'arrosement et le lavage des ruisseaux. Celles des prés Saint-Gervais et de Belleville prennent naissance dans les marnes vertes, terrains gypsifères.

Sources des Prés Saint-Gervais.		76°
—	de Belleville.	155°

TABLEAU INDICATIF

DES DEGRÉS HYDROTIMÉTRIQUES DES PRINCIPALES EAUX DE DIVERSES CONTRÉES.

DÉSIGNATION DES EAUX.	ORIGINE.	DATE DU PUISEMENT.	AUTEURS DES ESSAIS.	DEGRÉS HYDROTIMÉTRIQUES.
			MM.	
Acqua Argentina (eau Argentine).	Rome, dans le Vélabre.	1860.	Commaille et Lambert.	28°,25
Idem.	*Idem.*	11 mai 1862.	Boutron et Boudet.	28°,25
Acqua Felice.	Rome, fontaine de Moïse.	1859.	Commaille et Lambert.	22°,50
Idem.	*Idem.*	13 mai 1862.	Boutron et Boudet.	22°
Acqua Paolina (eau Pauline).	Rome, fontaine sur le Janicule.	»	Commaille et Lambert.	11°,25
Idem.	*Idem.*	11 mai 1862.	Boutron et Boudet.	11°,50 (1)
Acqua del Sole (eau du Soleil).	Rome, jardins Colonna.	1860.	Commaille et Lambert.	21°,50
Idem.	*Idem.*	10 mai 1862.	Boutron et Boudet.	21°,50
Acqua Virgo (eau Vergine).	Fontaine Trevi, à Rome.	7 mai 1862.	*Idem.*	17°,50
Aïn-Sboudja (aqueduc de). .	Alger.	»	Commaille.	21°
Allier (l').	A Moulins.	5 mars 1855.	Boutron et Boudet.	3°,50
Anio ou *Tevérone* (l'). . . .	A Tivoli.	1860.	Commaille et Lambert.	48° (2)
Antibes.	Fontaines de la ville.	19 janv. 1865.	Boudet et Girard.	43°
Aqueduc.	Route d'Antibes à Nice.	*Idem.*	*Idem.*	43°
Arcueil.	Au réservoir de Paris.	23 février 1855.	Boutron et Boudet.	28°
Arno (l').	Au *Ponte Mezzo*, à Pise.	1er mai 1862.	*Idem.*	22°
Arno (l').	Au pont suspendu, à Florence.	3 mai 1862.	*Idem.*	19°
Athènes.	Aux fontaines publiques.	Août 1863.	Robinet.	37°,50
Aube (l').	A Arcis.	7 octobre 1859.	Belgrand.	17°,80
Belleville.	»	23 février 1855.	Boutron et Boudet.	128° (3)

(1) Bien que cette eau ne marque que de 11 à 12°, elle passe cependant à Rome comme de mauvaise qualité; aussi n'est-elle guère employée que par des fabriques et à faire tourner les nombreux moulins du Transtevère.

(2) Cette rivière forme les cascades et les cascatelles de ce beau lieu si fréquenté des artistes et des étrangers.

(3) Cette eau est versée sur la voie publique.

Suite du Tableau indicatif des degrés hydrotimétriques des principales eaux de diverses contrées.

DÉSIGNATION DES EAUX.	ORIGINE.	DATE DU PUISEMENT.	AUTEURS DES ESSAIS.	DEGRÉS HYDROTIMÉTRIQUES.
			MM.	
Berlin.	Aux puits de la ville.	Sept. 1865.	Robinet.	36 et 42° (1)
Bordeaux.	Fontaines publiques.	Août 1862.	*Idem.*	21°,30
Bordiguiera (Italie).	Fontaine derrière l'église.	14 mars 1865.	Boudet et Girard.	21°
Boufarick (Algérie).	Fontaines publiques.	Février 1863.	Commaille.	16°,50
Brague (la).	Route de Nice.	19 janv. 1865.	Boudet et Girard.	43°
Cagne (la), petite rivière. . .	Alpes maritimes.	*Idem.*	*Idem.*	19°
Canal de l'Ourcq.	"	23 février 1855.	Boutron et Boudet.	30°
Danube (le).	Vienne (Autriche).	Juillet 1863.	Robinet.	22°,50
Dely-Ibrahim (Algérie). . . .	Fontaines publiques.	"	Commaille.	27°,50
Dhuis (la).	A la source.	Sept. 1861.	Boutron et Boudet.	24°
Distillée.	"	"	*Idem.*	0°
Donaï (rivière du).	A Saïgon (Cochinchine).	Déc. 1864.	Robinet.	7°
Dordogne (la).	A Libourne.	26 mars 1855.	Boutron et Boudet.	4°,50
Durance (la).	Aqueduc de Roquefavour.	10 juin 1862.	Boutron.	15°
École Forestière.	A Saint-Pétersbourg.	Avril 1863.	Robinet.	16°
Elbe (l').	A Hambourg.	Juillet 1863.	*Idem.*	11°,50
Emmerin (Sources d').	A Lille.	20 nov. 1864.	Girardin.	24°
Emmerin (Forage d').	*Idem.*	*Idem.*	*Idem.*	24°,50
Escaut (l').	A Valenciennes.	5 avril 1855.	Boutron et Boudet.	24°,50
Esteron (l').	Affluent du Var (Alp. maritim.).	"	Boudet et Girard.	19°,50
Fontaine de la ville (ancienne).	A Cannes.	31 janv. 1865.	*Idem.*	70°
— du Cercle.	A Blidah (province d'Alger).	Février 1865.	Boudet.	20°
— *della Croce*.	Florence.	2 mai 1862.	Boutron et Boudet.	37°,50 (2)
— de l'Est.	A Menton.	14 mars 1865.	Boudet et Girard.	20°
— de la pl. Mercier-Lacombe.	Au Cannet (Alpes maritimes).	12 mars 1865.	*Idem.*	48°
— du Marché.	A Vintimille (Italie, anciens États sardes).	14 mars 1865.	*Idem.*	18°
— du *Monte Olivetto*. . . .	Naples.	2 juin 1862.	Boutron et Boudet.	15° (3)

— de la place du Château. .	*Idem.*	*Idem.*	*Idem.*	15°
— de la porte de l'Arsenal. .	Toulon.	„	Boudet et Girard.	25°
— publique.	St.-Denis du Sig (prov. d'Oran).	Février 1865.	Pichard et Boudet.	30°
— de Théoule, dite des Lessives.	Près Cannes (Alp. maritimes).	22 déc. 1864.	Boudet et Girard.	1°
— publique.	Le Tlelat (province d'Oran).	Février 1865.	Boudet.	40°
— de la ville.	A Puget-Theniers (Alp. mar.)	1er mars 1865.	Boudet et Girard.	23°,50
Garonne (la).	Bordeaux.	Août 1862.	Robinet.	11°
Grenoble.	Fontaines publiques.	„	„	19°
Hamma (aqueduc du). . . .	Alger.	„	Commaille.	25°,50
Hôpital du Dey.	*Idem.*	„	*Idem.*	23°
Isère (l').	A Grenoble.	„	„	11° (4)
Jourdain (le).	Syrie.	Juillet 1862.	„	10°
Leone (del).	Au bas du Pausilippe, à Naples.	2 juin 1862.	Boutron et Boudet.	6° (5)
Loire (la).	A Tours.	5 mars 1855.	*Idem.*	5°,50
Idem.	Nantes.	*Idem.*	*Idem.*	5°,50
Loup (le), rivière.	Route de Nice (Alp. maritimes).	19 janv. 1865.	Boudet et Girard.	24°
Macta (rivière de la).	A la Macta (province d'Oran)	Février 1865.	Boudet.	34°
Mascara, province d'Oran. .	Fontaines publiques.	*Idem.*	Pichard et Boudet.	35°
Madrid.	*Fuente del Berro.*	Mai 1862.	Robinet.	25°,50
Idem.	*Fuentes de Lozoya* (*Puerta del Sol*).	*Idem.*	*Idem.*	4°,50
Idem.	*Fuente de la Salud* (*Buen retiro*).	Août 1862.	*Idem.*	28°,50
Marinella di Santa Lucia . .	Naples.	29 mai 1862.	Boutron et Boudet.	19°
Marne (la).	A Charenton.	23 février 1855.	*Idem.*	23°
Mexico, *agua delgada* (eau légère).	„	Mai 1864.	Robinet.	4°
Mexico, *agua gorda* (eau lourde.	„	*Idem.*	*Idem.*	12°,50

(1) L'eau de la Sprée ne se boit pas; ce sont des puits qui servent à l'alimentation de la ville.
(2) Cette eau, qui passe pour la plus salubre de Florence, vient d'une montagne à quelques milles sur la route de Fiesole.
(3) Cette eau a une apparence opaline et manque de limpidité.
(4) L'eau de l'Isère ne se boit pas; les fontaines publiques de Grenoble sont alimentées par des sources.
(5) Cette fontaine peu abondante, qui doit son nom à un lion placé dans une vasque, passe pour la meilleure et la plus légère de Naples.

Suite du Tableau indicatif des degrés hydrotimétriques des principales eaux de diverses contrées.

DÉSIGNATION DES EAUX.	ORIGINE.	DATE DU PUISEMENT.	AUTEURS DES ESSAIS.	DEGRÉS HYDROTIMÉTRIQUES.
			MM.	
Neckar (le).	A Heidelberg.	Sept. 1865.	Robinet.	31°,75
Neige (de).	Paris.	Déc. 1854.	Boutron et Boudet.	2°,50
Néva (la).	A Saint-Pétershourg.	Avril 1863.	Robinet.	6°
Nil (le).	Au Caire.	Juillet 1862.	*Idem.*	7°,50
Idem.	A Alexandrie.	Déc. 1864.	*Idem.*	11°,50
Oise (l').	A Pontoise.	5 avril 1855.	Boutron et Boudet.	21°
Oued-Allalah.	Alimentant les fontaines publiques, à Tenès.	"	Commaille.	59°
Paillon (le).	En amont de Nice.	19 janv. 1865.	Boudet et Girard.	19°,50
Pise.	Eau de source.	1er mai 1862.	Boutron et Boudet.	5°
Pluie (de).	Paris.	Déc. 1854.	*Idem.*	3°,50
Prés-Saint-Gervais (des)	"	22 février 1855.	*Idem.*	72°
Puits artésien de Grenelle.	"	16 février 1855.	*Idem.*	9°
— artésien de Passy.	"	Nov. 1861.	*Idem.*	11°
Puits de la villa Brougham.	Cannes.	20 février 1865.	Boudet et Girard.	19°,50
Ras-el-Aïn (source principale).	Ville d'Oran.	*Idem.*	Pichard.	28°
Rhône (le).	Aux bornes-fontaines de Lyon.	"	Robinet.	17°,25
Riou de Lanapoule.	Près Cannes.	Déc. 1864.	Boudet et Girard.	3°
Ronzier (source de).	Lyon.	"	Sceligmann.	25°
Roussa (source du ravin de la).	Monaco.	"	Girard.	20°
Roye (source de).	Lyon.	"	Sceligmann,	27°
Saint-Damas.	Cour du Vatican, à Rome.	1860.	Commaille et Lambert.	15°
Saône (la).	"	17 avril 1855.	Boutron et Boudet.	15°
Sciagne (la).	A sa source (Alpes maritimes).	Mai 1865.	Girard.	20°,50
Idem.	Au pont de fer, près Cannes.	22 déc. 1864.	Boudet et Girard.	18°
Idem.	A l'ancien pont romain, près Cannes.	1er nov. 1864.	*Idem.*	20°
Sciagnolle (la).	A sa source (Alpes maritimes).	Mai 1865.	Girard.	20°,50

Séclin (le).	A Lille.	20 nov. 1864.	Girardin.	23°
Seine (la).	Au pont d'Ivry.	15 déc. 1854.	Boutron et Boudet.	15°
— *Idem*.	Au pont d'Ivry.	16 février 1855.	*Idem*.	17°
— *Idem*.	A Chaillot.	*Idem*.	*Idem*.	23°
Senia (province d'Oran).	Aux fontaines publiques.	»	Pichard.	92°
Somme (la).	Département de la Marne.	25 déc. 1854.	Boutron et Boudet.	14°
Somme-Soude (la).	*Idem*.	*Idem*.	*Idem*.	13°,50
Soude (la).	*Idem*.	*Idem*.	*Idem*.	13°,50
Source de Carpillet.	A Grasse (Alpes maritimes).	11 janv. 1865.	Boudet et Girard.	18°
— de la Fous.	A Vence (Alpes maritimes).	1er mars 1865.	*Idem*.	18°
— de la Fous.	A Grasse (Alpes maritimes).	11 janv. 1865.	*Idem*.	20°
— Malaribe.	A Villefranche (Alp. maritimes).	20 janv. 1865.	*Idem*.	22°
— de la place d'Armes.	Nice.	19 janv. 1865.	*Idem*.	23°
— Saint-Sébastien.	*Idem*.	*Idem*.	*Idem*.	23°
— du Télégraphe, dite des Trembles.	Route d'Oran à Sidi-Bel-Abbès.	Février 1865.	Pichard.	17°
Telemli (aqueduc de).	Alger.	Février 1863.	Commaille.	22°,50
Tenao (source de la mont. de).	Monaco.	»	Girard.	30°
Tibre (le).	Port de Ripetta (Rome).	1860.	Commaille et Lambert.	29°
Idem.	*Idem*.	9 mai 1862.	Boutron et Boudet.	31°
Tinée (la).	Affluent du Var (Alp. marit.).	»	Boudet et Girard.	18°
Turbie (la).	Alpes maritimes.	20 janv. 1865.	*Idem*.	16°
Turia (le).	Valence (Espagne).	Mai 1862.	Robinet.	44°
Vanne (sources de la).	Aube.	1855 et 1857.	Belgrand.	18 à 20°
Var (le), sous le pont Saint-Laurent.	Alpes maritimes.	19 janv. 1865.	Boudet et Girard.	28°,50
Var (le).	En aval de l'Esteron.	1er mars 1865.	*Idem*.	19°,50
Vera-Cruz.	Fontaine du marché.	Mai 1864.	Robinet.	31°
Vésubie (la).	Affluent du Var (Alp. marit.).	»	Boudet et Girard.	21°
Villa Aldobrandini.	A la Cascade, à Frascati.	16 mai 1862.	Boutron et Boudet.	4°,50
Wampoa (rivière du).	A Shang-haï (Chine).	15 janv. 1865.	Robinet.	36°
Yokohama.	Japon.	Nov. 1864.	*Idem*.	13° (1)
Yonne (l').	En aval de l'embouchure de l'Armançon.	17 avril 1855.	Boutron et Boudet.	15°

(1) Cette eau contient une assez forte proportion de fer.

TABLE.

Pages.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Cie, 26, rue Racine.